الفيزيولوجيا الحيوانية والغدد الصم



كلية علم الأحياء(البيولوجيا)

اختصاص علم الأحياء الدقيقة

السنة الثالثة

فصل دراسي أول



الفيزيولوجيا الحيوانية والغدد الصم


جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

منشورات جامعة حلب
كلية العلوم



الفيزيولوجيا الحيوانية والغدد الصم

الدكتور
أحمد قمري
استاذ مساعد في قسم علم الحياة الحيوانية

لطلاب السنة الثالثة أحياء دقيقة
والسنة رابعة حيوية بيئية
قسم الحياة الحيوانية

مدرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤٣٥هـ - ٢٠١٤م


جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الـفـهــرس

الفصل الثالث: فيزيولوجيا التنفس

الفصل الرابع: فيزيولوجيا الاطراح

الفصل الخامس: فيزيولوجيا الهضم

الفصل التاسع- فيزيولوجيا الجملة العصبية

الفصل العاشر – الغدد

الفصل الثاني عشر: الغدد التناسلية

المقدمه

نظراً لكثرة التحورات التي تطرأ على وظائف الأعضاء عند الحيوانات وضخامة دراسة علم الوظائف المقارن، فإننا ركزنا في كتابنا هذا على فيزيولوجيا جسم الإنسان، وذلك لأن جسم الإنسان الكلي يتألف من أعضاء مختلفة لكل عضو فيها عمل خاص به ويرتبط ارتباطا وثيقاً أو ثانويا بوظيفة عضو أخر أو مجموع الأعضاء.

ومن هنا كان لابد لكل دارس طب أو علم أحياء أن يعرف وظائف الأعضاء وتركيب خلاياها وانسجتها ووظيفة كل منها ثم معرفة مدى ارتباط بعضها ببعض وتأثير الواحدة في الأخرى. في البداية كان جلي اهتمامنا على مواضيع فيزيولوجيا التغذية التي تهتم بدراسة العلاقة بين المواد التي يتناولها الكائن الحي وبين الطاقة التي ينتجها وتحولاتها في خلايا جسمه. فالحيوانات تحتاج إلى إمداد مستمر من المواد للحصول على الطاقة والعناصر الضرورية لقيامها بوظائفها المختلفة ولتركيب مادتها الحية.

لقد استعرضنا في الفصول الأولى موضوعي الدم والدوران ، وذلك لأهميتهما في نقل المواد داخل الجسم. ثم موضوع التنفس لأهميته في موضوع التبادل الغازي بين جسم الإنسان والوسط المحيط وذلك لتأمين حاجة الجسم من الأكسجين الضروري لأكسدة المواد العضوية وانتاج الطاقة والتخلص من غاز ثاني اكسيد الكربون الناتج عن هذه الاكسدة. وأيضا استعرضنا أليات هضم الطعام وامتصاصه وعمليات التخلص من الماء الزائد والمركبات المعدنية الزائدة بعملية الاطراح.

أما المواضيع الأخرى من هذا الكتاب فقد اهتمت بدراسة تنظيم علاقة الكائن الحي بالبيئة التي يعيش فيها. وهذا ما ركزنا عليه من خلال تقديم معلومات عن فيزيولوجيا التنسيق والحس والفاعلات والغدد الصم.

وفيما يتعلق بالمستقبلات فالكائن الحي يحمل عدة أنواع منها، يتأثر كل منها بنوع محدد من الطاقات البيئية المنبهة. وعليه فقد صممت أعضاء الحس لاستقبال المعلومات عن حالة البيئة وتغيراتها ومن ثم نقل هذه المعلومات إلى الجهاز العصبي المركزي الذي

يقدر حجم الاستجابة ويرد عليها بإرسال الايعازات المناسبة إلى الفاعلات لتامين الاستجابة المناسبة.

كما يقوم الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصم بتأمين التنسيق والتنظيم الضروريين لنشاطات الجسم المختلفة. ويشترك الجهازان بالعديد من الخصائص والبنى والوظائف، كما أنهما يؤثران في وظائف الجسم بطريقة تكاملية.

فالكتاب يشرح بالتفصيل وظائف التنسيق والتنظيم التي يقوم بها كل من الجهازين (الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصم). إذ إنه يعرض بشكل مفصل جميع المبادئ العصبية الفيزيولوجية الضرورية لفهم إمكانيات الجملة العصبية وحدودها. كما يدرس هذا الكتاب بالتفصيل جميع البنى الدماغية والعصبية والاتصالات والحزم العصبية التي تؤمن الإشراف العصبي الكامل على جميع وظائف ونشاطات أجهزة الجسم من جهة، و يدرس بشيء من التفصيل بنى ووظائف هرمونات الغدد الصم في الجسم وتداخلاتها مع الأجهزة الأخرى من أجل تحقيق التنسيق الكامل في جميع فعاليات الجسم وأنشطته المختلفة من جهة أخرى.

والله الموفق

المؤلف

د. أحمد قمري

الفصل الأول
الدم
The Blood

الدم عبارة عن شكل من أشكال النسيج الضام، يتكون من مادة سائلة صفراء تدعى المصورة الدموية Plasma ومن عناصر خلوية هي:

- الكريات الحمراء Erythrocytes.
- الخلايا البيض Leukocytes .
- الصفيحات الدمويةBlood Platelets .

1- تكونّ الدم:

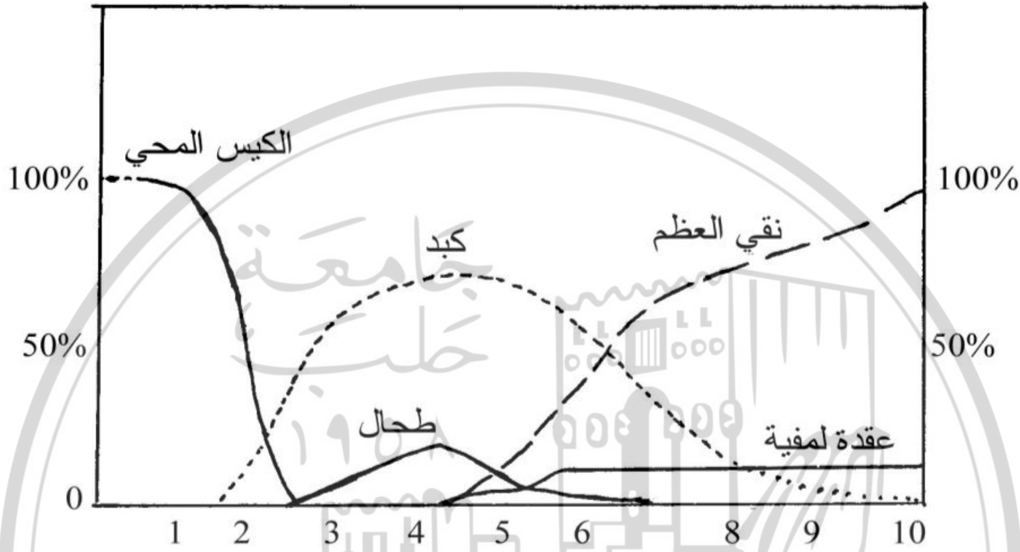
يبدأ تكونّ الدم في المرحلة الجنينية وفي الأسابيع الأولى من الحمل وقبيل عملية تمايز الأعضاء المنتجة للدم (كبد – طحال – نقي عظم) في الكيس المحي نتيجة انفصال الخلايا المتوسطة لجدار الكيس المحي وتشكل الجزر الدموية. تتعرض الجزر الدموية إلى مجموعة من التبدلات الشكلية والوظيفية، حيث تفقد بعض الخلايا المتوسطة المركزية استطالاتها المميزة لها وتأخذ بالاستدارة متحولة إلى أرومة اصلية دموية Hemocytoblast، بينما تأخذ الخلايا المتوسطة المحيطية بالتطاول والتسطح مشكلة الطبقة البطانية لبداءة جدار الوعاء الدموي.

تتراجع عملية تكونّ الدم في الكيس المحي بشكل تنازلي حتى ظهور بداءة الكبد الذي يبدأ نشاطه التكويني في الشهر الثاني وبشكل تصاعدي مساعداً إياه ظهور الطحال. تتراجع عملية تكونّ الدم في الكبد والطحال وتصبح تنازلية مع ظهور بداءة نقي العظم في الشهر الثاني. تبدأ عملية تكونّ الدم في نقي العظم في الشهر الخامس بشكل تصاعدي بحيث يصبح المكان الأساسي لتكونّ الدم حتى نهاية الحمل مصحوب بتراجع ملحوظ بنشاط كلٍّ من الكبد والطحال اللذين يتوقفان عن التكونّ الدموي مع الولادة.

تبدأ الكريات الحمر Erythrocytes بالظهور في الأسبوع العاشر من الحمل، بينما تبدأ الصفيحات الدموية Platelets بالتشكل في الشهر الثالث من الحمل. علماً أن الخلايا

البيض الحبيبية Granulocytes يبدأ تشكلها اعتباراً من الشهر الرابع، في حين يبدأ ظهور وحيدات النوى Monocytes في الشهر السادس.

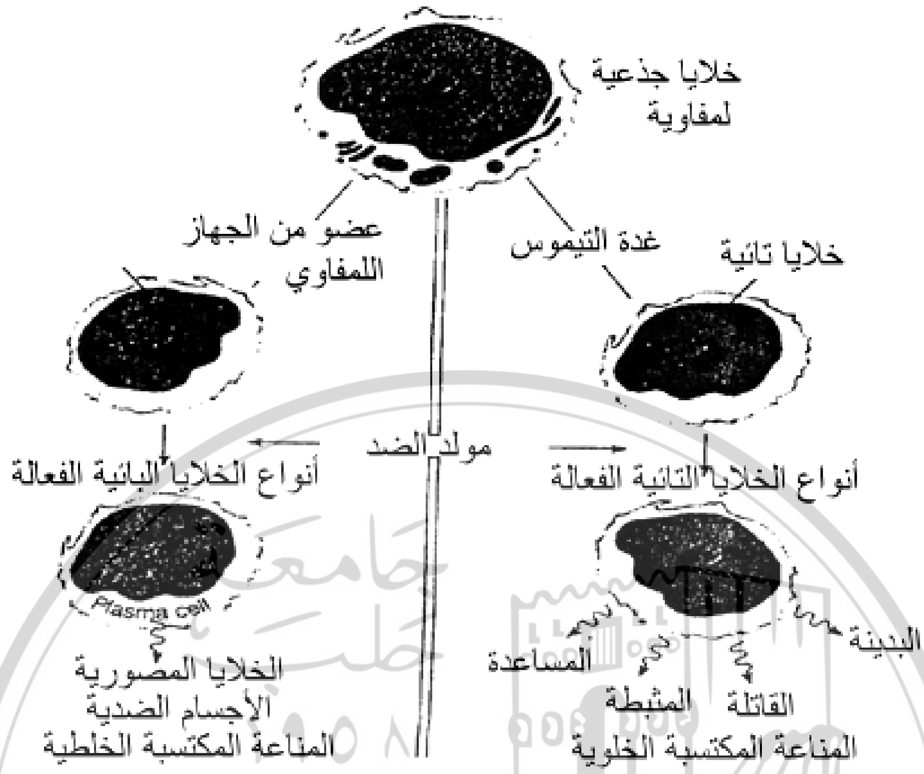
أما اللمفاويات Lymphocytes يبدأ تكونّها منذ الشهر الخامس في العقد اللمفاوية ويستمر طيلة فترة الحمل وما بعد الحمل، (الشكل رقم 1).



الشكل رقم (1): أماكن تشكل العناصر الدموية في أثناء التشكل الجنيني

أما بعد الولادة ينحصر تكونّ العناصر الخلوية الممثلة بالكريات الحمر، والخلايا البيض المحببة، ووحيدات النوى والصفيحات الدموية في نقي العظم فقط، في حين يتم تكونّ الخلايا اللمفاوية في نقي العظم اعتباراً من الخلية الجذعية اللمفاوية stem cell Lymphocyte، لكن تطورها وتمايزها إما أن يتابعا في الغدة التيموسية Thymus Gland معطياً الخلايا اللمفاوية التائية (المساعدة المثبطة والقاتلة والبدينة Mast)، أو يتابع تطورها في مناطق معينة من نقي العظم معطياً اللمفاويات البائية التي تطلق الأجسام الضدية، (الشكل رقم 2).

يحدث خلال مرحلة الطفولة انحسار تدريجي في كمية نقي العظم الأحمر بحيث يصبح تشكل العناصر الخلوية محصوراً في سن الرابعة بنقي العظام المسطحة (قص – أضلاع – قحف) والعظام الطويلة والفقرات، بسبب استبدال النقي الأحمر المشكل للخلايا الدموية في باقي العظام بكتل دهنية محولة إياه إلى نقي أصفر غير فعال خلوياً.



الشكل رقم (2): تطور الخلية الجذعية اللمفاوية وتشكل اللمفاويات

2- وظائف الدم:

يقوم الدم بالعديد من الوظائف:

- نقل الأكسجين من الرئتين إلى الأنسجة، ونقل CO_2 من الأنسجة إلى الرئتين ليتم طرحه إلى الوسط الخارجي.
- نقل المواد الغذائية من سوية الأمعاء إلى جميع أنحاء الجسم.
- نقل الفضلات الناتجة عن الاستقلاب من الأنسجة إلى جهاز الإطراح ليتم طرحها إلى الوسط الخارجي.
- تزويد الجسم بالخلايا البيض والأجسام الضدية، أي أنه يساعد في الدفاع عن الجسم ضد المواد الغريبة الداخلة إليه مع الهواء والغذاء.
- يساعد في تنظيم درجة حرارة الجسم من خلال نقله للحرارة من الأنسجة العميقة إلى سطح الجسم.
- يؤمن الارتباط الخلطي للجسم، حيث يقوم بنقل الهرمونات إلى مواقع تأثيرها داخل الجسم.

- يساعد في المحافظة على ثبات درجة الحموضة PH.
- يساعد في عملية الإرقاء (تخثر الدم).
- يساعد في الحفاظ على التوازن الحلولي من خلال تأمين عملية توزيع الماء بين الدم والأنسجة.

3- الخصائص الفيزيائية للدم:

- **اللون:** الدم سائل لزج أحمر اللون، قلوي التفاعل (7.35)، تتراوح كميته عند الإنسان البالغ من خمسة إلى ستة ليترات أي ما يعادل 9% من وزن الجسم. يصبح لون الدم أحمر قرمزياً إذا كان مؤكسجاً (دماً شريانياً) وأحمر داكناً مائلاً للأزرق إذا كان غير مؤكسج (دماً وريدياً).
- **الكثافة**: وتعتمد على وجود الكريات الحمر والبروتينات في المصورة الدموية، وهي تعادل للذكور 1.057غ/ سم^2 وللإناث 1.051غ/سم^2.
- **اللزوجة:** وهي من العوامل المؤثرة في ضغط الدم، وتفيد في تحديد سرعة جريان الدم. وتتراوح قيمة لزوجة العناصر الخلوية (3.5 للإناث – 4.5 للذكور) وللمصورة (1.7 للإناث – 2.2 للذكور). وبما أن اللزوجة مرتبطة بعدد الكريات الحمر ونسبة البروتينات في المصورة الدموية، ففي حال كثرة الحمر أو ارتفاع نسبة البروتينات في البلازما يصبح جريان الدم بطيئاً بسبب ارتفاع اللزوجة مما يسبب في حدوث الجلطات الدموية وارتفاع الضغط الدموي، بينما انخفاض اللزوجة، كما في حالة فقر الدم وانخفاض نسبة بروتينات البلازما كما هو الحال عند الاصابات الكبدية تسبب بانخفاض الضغط الدموي.
- **الضغط الحلولي:** ينتج الضغط الحلولي عن وجود الأملاح والبروتينات في المصورة الدموية وهي تساوي (7.5) ملم/زئبقي. وترجع أهمية الضغط الحلولي في المحافظة على الأملاح والماء داخل وخارج الخلية، أي المحافظة على شكل العناصر الخلوية، لأن الكريات الحمراء أظهرت ظاهرة التحلل الخضابي، انكماش الكريات الحمر في حال ارتفاع الضغط الحلولي، وانتباج وانفجار الكريات الحمر في حال انخفاض الضغط الحلولي.

أما الضغط الحلولي الغروي (جانب الأوعية الدموية) فيساوي 30 ملم/زئبقي، وترجع أهميته إلى المحافظة على وجود الماء داخل الأوعية الدموية (المحافظة على حجم الدم) من جهة، وتبادل المواد الغذائية بين الدم والخلايا الجسدية من جهة أخرى.

- **سرعة الترسب:** وهي سرعة ترسب الكريات الحمر للدم الممنوع من التخثر في واحدة الزمن (ساعة). والقيم الطبيعية لسرعة الترسب بعد الساعة الأولى للرجال فوق سن الخمسين سنة من (2-20) ملم/سا، ودون سن الخمسين سنة من (2-10) ملم/سا. أما عند الإناث فوق سن الخمسين سنة من (2-30) ملم/سا ودون سن الخمسين سنة من (2-20) ملم/سا. وتفيد معرفة سرعة الترسب في تحديد وجود أمراض عضوية ولكنها لا تعطي فكرة عن هوية المرض، فهي تساعد في معرفة تطور المرض وشدة الإصابة ومدى استجابة المريض للعلاج المطبق. علماً بأن سرعة الترسب تزداد عند نقص الألبومين وزيادة الكوليسترول وفي الالتهابات بسبب ارتفاع نسبة الغلوبولينات ومولد الليفين، و تنقص عند زيادة الألبومين ووجود شذوذات في شكل الكريات الحمر مثل فقر الدم المنجلي.
- درجة حموضة الدم: تبلغ درجة حموضة الدم (7.35)، والتي تبقى ثابته من خلال وجود جملة من الآليات الدارئة (البيكربونات والهيموغلوبين) التي تحول من حدوث تغيرات مهمة تؤدي إلى الموت، بدليل ارتفاع درجة الحموضة يؤدي إلى اضطرابات في الجملة العصبية، لأن القلوية تهيج الغشاء الخلوي، بينما الحموضة تقلل من تهيج الغشاء الخلوي، الأمر الذي يثبط العقدة الجيبية الاذينية في القلب.

4- **مكونات الدم:**

يتكون الدم عند الإنسان من:

أ- المصورة الدموية ب- العناصر الدموية

أ- **المصورة الدموية Blood Plasma:**

هي الجزء السائل من الدم، قوامها لزج صفراء اللون، وتبلغ نسبتها عند الإنسان 55% من حجم الدم الكلي، بينما تشكل العناصر الخلوية النسبة الباقية 45%.

يعود ميل المصورة إلى اللون الأصفر، وجود مادة البيلروبين، ولهذا عندما تزداد نسبة البيلروبين في المصورة يظهر ذلك بتلون الجلد باللون الأصفر أو ما يعرف باليرقان Icterus.

تتكون المصورة من 90-92% ماء و 7% مواد عضوية مثل البروتينات وأهمها مولد الليفين Fibrinogen والغلوبولينات Globulins والألبومينAlbumin ، و0.9% أملاح معدنية (الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنيزيوم واليود) ومواد نتروجينيه ناتجة عن هدم البروتينات (بولة وحمض البولة) ومواد غير نتروجينيه كالسكريات الأحادية (غلوكوز) والحموض الدسمة والكوليسترول والغليسيريدات الثلاثية والغازات التنفسية.

1- الماء:

إن وجود كميات كبيرة من الماء في نسيج ما دلالة على أنشطته الحيوية، بدليل نسبة الماء في المادة البيضاء للدماغ حوالي 65% وفي المادة الرمادية 85%. يفهم من ذلك وجود الكميات الكبيرة من الماء في الدم دلالة على أنه نسيج ذو فعالية عالية، حيث تتم فيه جميع التفاعلات الاستقلابية والنشاطات الأنزيمية، لذلك أي زيادة أو نقصان عن الحدود السوية سوف تؤدي إلى الموت.

2- الأملاح المعدنية:

معظم الأملاح المعدنية الموجودة في مصورة الدم تكون على هيئة شوارد أو جذور كيميائية موجبة وسالبة، أهمها:

أ- الصوديوم: مسؤول عن تشكيل كمونات الفعل.

ب- البوتاسيوم: مسؤول عن المحافظة على الكمون الغشائي (كمون الراحة).

ج- الكالسيوم: مسؤول عن التقلص بالإضافة إلى وظائفه الأخرى في التخثر والنقل العصبي.

وكذلك شوارد الكلور والصوديوم يلعبان دوراً في تنظيم الضغط الحلولي للدم، بينما تلعب البيكربونات والفوسفات دوراً في ضبط درجة pH الدم ثابته.

3- **البروتينات:**

البروتينات المحمولة في المصورة هي مكونات خاصة بالفرد لأنها من منتجات خلاياه بإشراف مورثاته، بعكس المواد الأخرى التي تأتي من عمليات التبادل بين الفرد والوسط المحيط. وهناك أكثر من (30) نوعاً من البروتينات في المصورة الدموية تم عزلها بطريقة الرحلان الكهربائي، وسنتطرق إلى أهمها: الألبومين Albumin– مولد الليفين Fibrinogen– الغلوبولينات Globulins.

أ- **الألبومين:** هو أكثر بروتينات المصورة الدموية انتشاراً، نسبته 55% من مجمل بروتينات المصورة. يتشكل الألبومين في الكبد وتبدو أهميته في تنظيم توزيع الماء بين الدم والنسج.

ونظراً لكبر مساحة الألبومين يعتبر ناقلاً للعديد من المواد مثل: البيلروبين الناتج عن تحطم الكريات الحمر، والمواد الدسمة والكالسيوم والمواد ذات المنشأ الخارجي كالبنسلين. إن انخفاض نسبة الألبومين في المصورة نتيجة الجوع البروتيني أو خلل في اصطناعه في الكبد يؤدي الى ظهور وذمات مختلفة نتيجة لتسرب الماء من المصورة إلى السوائل الخلاليه.

ب-**الغلوبولينات**: يتم اصطناع الجزء الأكبر من الغلوبولينات في النسيج الشبكي البطاني (خلايا كوبفر في الكبد، والخلايا الغبارية في الرئة، والخلايا الشبكية البطانية في الطحال)، ونسبتها 38% من المحتوى الكلي لبروتينات المصورة.

و للغلوبولينات أنواع كثيرة أمكن عزل عدة زمر منها بطريقة الرحلان الكهربائي:

1 – الغلوبولين (ألفا 1): ناقل للسكريات.

2 – هيبتا غلوبولين: يرتبط مع الهيموغلوبين الناتج عن تحطم الكريات الحمر، ولهذا تحديد نسبته في البلازما تلعب دوراً كبيراً في تشخيص الإصابة بفقر الدم الانحلالي.

3 – الغلوبولين (ألفا 2): ناقل للنحاس والتيروكسين وفيتامين B12.

4– الغلوبولين غما: مسؤول عن تشكيل الأضداد Antibodies.

5– غلوبولين بيتا أو(الترنسفيرين): ناقل للحديد.

ج- **مولد الليفين:** بروتين منحل في المصورة، يصنع في الكبد، ونسبته 7% من المحتوى الكلي لبروتينات المصورة ويلعب مولد الليفين دوراً في عملية تخثر الدم، لأن الأساس في عملية التخثر هو تحول مولد الليفين المنحل في ماء المصورة إلى مادة الليفين غير المنحلة في الماء. لذلك لا يمكن عزله بطريقة الرحلان الكهربائي، لأن هذه الطريقة تطبق على مصل الدم Serum Blood وليس على مصورة الدم.

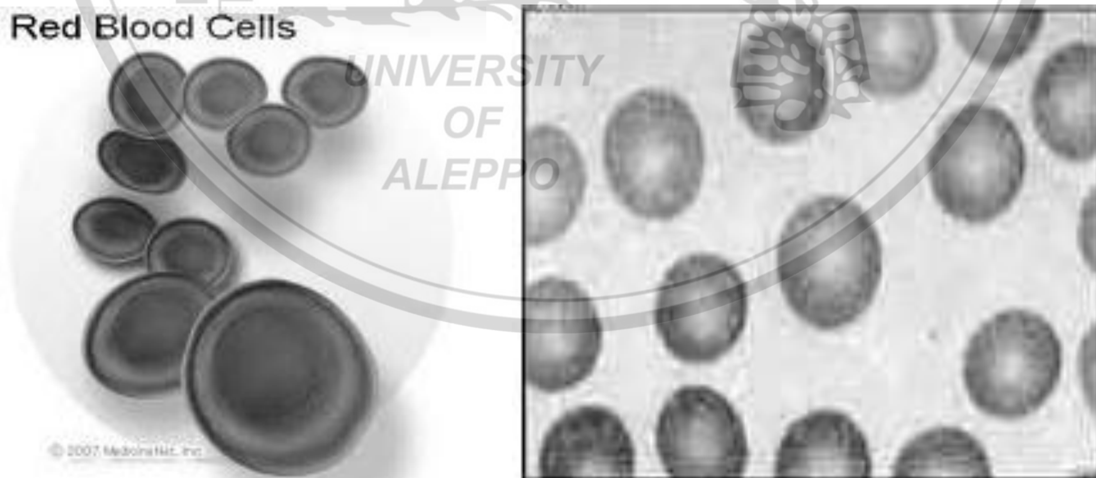
نستنتج مما سبق أن لبروتينات المصورة الدموية عدة وظائف أهمها:

- تنظيم حجم الدم والسائل الخلالي بفعل الضغط الحلولي الغرواني.
- مشاركتها في مناعة الجسم.
- تدخلها في عملية تخثر الدم.
- نقل بعض المواد وحمايتها من الضياع (الهرمونات –الفيتامينات– الحديد).

ب- العناصر الشكلية الدموية:

1- الكريات الحمراء Erythrocytes:

الكريات الحمر قرصية الشكل مقعرة الوجهين، لونها أحمر عديمة الحركة، مجردة من النواة وأنها غير قادرة على الانقسام عند الإنسان والثدييات، (الشكل رقم ٣)،بينما تكون منواه عند الفقاريات الأخرى.



الشكل رقم (3): شكل الكرية الحمراء عند الانسان

يبلغ قطر الكرية الحمراء الطبيعية عند الإنسان (8) ميكرومتر، وثخانتها عند الحواف (2) ميكرومتر، وثخانتها في المركز أقل من (1) ميكرومتر. يتلاءم شكل

الكريات الحمر القرصي المقعر الوجهين مع وظيفتها التنفسية، حيث يمكن اشباع كافة جزيئات الهيموغلوبين الموزعة تحت غشائها بالأكسجين.

مرونة ورقة جدران الكريات الحمراء يمكنها من المرور عبر جدران الأوعية الدموية الشعرية المتعرجة وحويجزات اللب الأحمر للطحال دون أن تنفجر. ويعود السبب في ذلك إلى أن غشاء الكرية الحمراء فضفاض بالنسبة لكمية المادة الموجودة داخلها، الأمر الذي يحميها من التشوه عند مرورها في الأوعية الشعرية التي قطرها أقل من قطر الكريات الحمر.

تحتوي الكريات الحمراء على 60% من وزنها ماء و30% خضاباً وسكريات وقليل من البروتينات الأخرى والليبيدات وبصورة خاصة الكوليسترول، والأملاح المعدنية وخاصة البوتاسيوم والكالسيوم. إضافة إلى ذلك وجود بعض الأنزيمات مثل الكاربونيك إنهيدراز الذي يساعد في حلمهة CO_2 وتشكيل حمض الفحم، الأمر الذي يساعد في ضبط درجة الحموضة PH، والهكسوز أحادي الفوسفات الذي يعمل على اختزال وارجاع الحديد إلى حديدي.

تستمد الكرية الحمراء الطاقة اللازمة لعمل المضخات الشاردية التي تؤمن توزيع شاردي على جانبي الغشاء من الأكسدة الهوائية للسكريات.

يبلغ عدد الكريات الحمر عند الإنسان ما بين (4.5 إلى 5.5) مليون في الملم^3، ولكن هذا العدد يختلف في الحالات الطبيعية باختلاف العمر والجنس والبيئة.

عدد الكريات الحمر عند الأطفال أكبر مما هو عليه عند الشيوخ تكيفاً مع حاجة الجسم من الاكسجين اللازم للنمو، بينما عدد الكريات الحمراء عند سكان المرتفعات يكون أكبر مما عليه عند سكان السهول بسبب اختلاف الضغط الجزئي للأكسجين في طبقات الغلاف الجوي. وأيضا عدد الكريات الحمراء عند الذكور أكبر مما هو عليه عند الإناث بسبب اختلاف حاجة الأجسام للأكسجين والتأثير المثبط للهرمونات الجنسية الأنثوية على نشاط نقي العظم عند الإناث.

أ – تكونّ الكريات الحمر:

تتكونّ الكريات الحمراء في نقي العظم في الأسبوع العاشر من الحمل ابتداءً من أرومة أصلية دموية Hemocytoblast وذلك تحت تأثير المنبه الخارجي (نقص

الأكسجين) ووجود محرضات النمو والتمايز مثل: الأنترلوكين (3) الذي تشكله الخلايا التائية المساعدة والاريثروبيوتين الذي تشكله الكليتان والكبد. تقوم الخلية الجذعية تحت تأثير المنبه (نقص الأكسجين) بتشكيل الارومة الحمراء البدائية Erythroblasts المنواة والتي تعطي سليفة الأرومة الحمراء Proerythrocyte. تنقسم سليفة الأرومة الحمراء انقسامات عديدة لتعطي الأرومة الحمراء الاسة لأنها تتلون بالأصبغة القاعدية. يطرأ على الأسات مجموعة من التحورات (تناقص حجم النواة – تناقص السيتوبلاسما – تناقص جهاز غولجي – تناقص الشبكة البلاسمية الداخلية– وتشكل كمية كبيرة من الهيموغلوبين) تؤدي إلى تشكل الأرومة متعددة الاصباغ، وأخيراً نحصل على كرية أقل نضجاً تدعى الخلية الشبكية Reticulocyte التي تتحول إلى كرية حمراء ناضجة Erythrocyte عند انسلالها من نقي العظم إلى الدوران المحيطي، (الشكل رقم 4).

تشكل الخلايا الشبكية Reticulocyte نسبة 1-2% من عدد الكريات في الدم، تزداد هذه النسبة في حالات النزف أو فقر الدم، حيث يمكن أن تصل نسبتها إلى 50% كما في حالة فقر الدم الانحلالي. إن معرفة نسبة الخلايا الشبكية في الدم المحيطي مهمة، فهي تعطي فكرة عن نشاط نقي العظم، فنقصانها يدل على كسل في نشاط نقي العظم وزيادتها دلالة على فرط نشاط نقي العظم.



الشكل رقم (4): مراحل تكوين الكريات الحمر في نقي العظم

ب–العوامل المؤثرة في إنتاج الكريات الحمر:

1– **سلامة نقي العظم:**

إصابة نقي العظم بالأذى نتيجة التعرض للإشعاعات أو الإصابات الجرثومية تسبب في حدوث فقر دم لا تنسجي Aplastic Anaemia، تكون كريات الدم الحمراء في هذه الحالة (سوية الحجم سوية الصباغ ولكن عددها قليل في الدوران المحيطي).

2- **الفيتامينات:**

فيتامين B_{12} وحمض الفوليك كلاهما ضروري لتركيب جزيء DNA، فنقصانهم إما بسبب غيابهما في الأطعمة أو نتيجة التهاب جدار المعدة ونقص إفراز العامل الداخلي الذي يحمي فيتامين B_{12} من تأثير العصارات الهاضمة ريثما يتم نقله إلى الكبد ليشارك في تكونّ DNA. نقص فيتامين B_{12} يسبب فقر دم ضخم الأرومات Megaloblastic Anaemia، الكريات الحمراء في هذه الحالة كبيرة الحجم زائدة الصباغ.

3- **الحديد:**

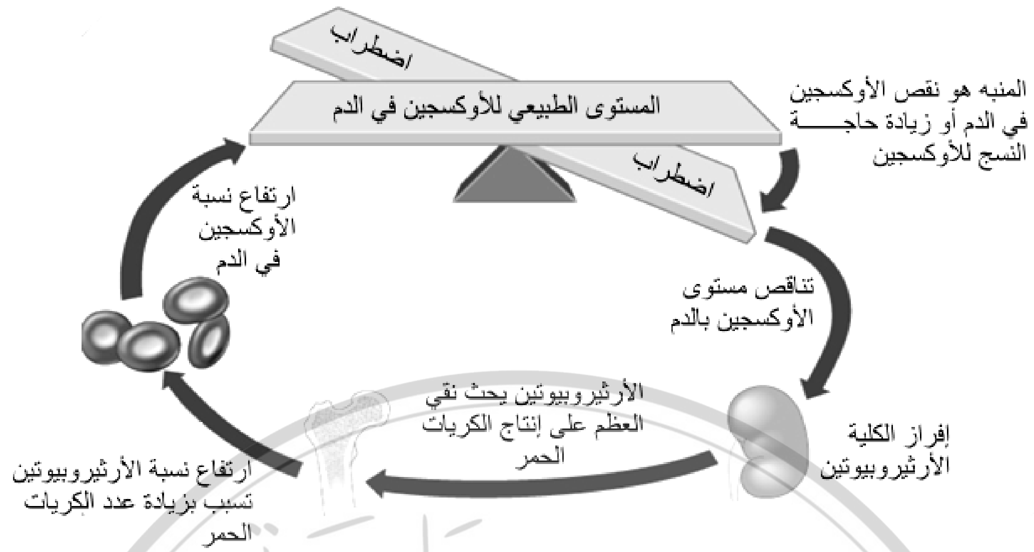
ثلثا حديد الجسم موجودان داخل الهيموغلوبين والفائض منه يخزن في الكبد على شكل بروتين حديدي يدعى فيرتين Fertin، وإذا ما ازدادت كمية الحديد في الجسم يخزن عندها في نقي عظم على شكل بروتين حديدي يدعى هيموسيدرين Hemosederine.

ظهور الهيموسيدرين وقلوية الدم تعوق عملية امتصاص الحديد في سوية العفج، في حين انخفاض درجة pH ووجود فيتامينC ينشط عملية امتصاص الحديد. نقص الحديد يسبب فقر دم حديدي Hypochromic anaemia ،الكريات الحمراء في هذه الحالة صغيرة الحجم ناقصة الصباغ.

4- **الأكسجين:**

بما أن الأكسجين عامل أساسي يحث نقي العظم على تشكيل الكريات الحمر، فانخفاض نسبته في الدم الواصل إلى الكلية، يحث خلايا موجودة في جدران الشرين الوارد إلى الكلية على إفراز العامل الكلوي (عامل كثرة الحمر) Renal Erythropoietin Factory، الذي ينشط بروتين غير فعال شكله الكبد موجود ضمن المصورة يدعى Erythropiotenogen ويحوله إلى أريثروبيوتين Erythropoietin.

ينقل الدم الأريثروبيوتين إلى نقي العظم ليرتبط مع مستقبلات نوعية موجودة على سطح الأرومات الحمراء البدائية حاثاً إياه على الانقسام انقسامات عديدة. يطرأ على الخلايا المنقسمة مجموعة من التطورات تتحول بنتيجتها الأرومات الحمراء البدائية الى كريات حمراء ناضحة، (الشكل رقم 5).



الشكل رقم (5): تأثير نقص الأكسجين في انتاج الكريات الحمر في نقي العظم

5- **الهرمونات:**

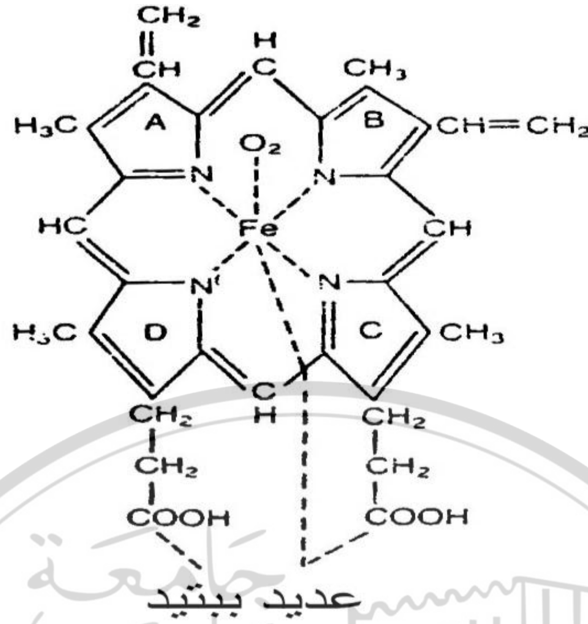
يعد كلٌ من اليتروكسين وهرمون النمو والتستوستيرون منشطات لعملية تكونّ الكريات الحمر في نقي العظم، بينما الهرمونات الأنثوية (البروجسترون والاستروجين) هي مثبطات لعملية تكونّ الكريات الحمر.

ج-الهيما توكريت Hematocrit :

تعبر الهيماتوكريت عن حجم الكريات المضغوطة Packed Volum Cell (PVC) إلى حجم عينة من الدم الممنوع من التخثر، وتقدر كمية الهيماتوكريت في الحالة الطبيعية ما بين 35-45% عناصر خلوية، و55-65% للمصورة. اضطرابات الهيماتوكريت دلالة مرضية، زيادتها دلالة على كثرة الحمر أو التجفاف ونقصانها دلالة على قفر الدم أو الاماهة.

د- **خضاب الدم (الهيموغلو بين Hemoglobin):**

يعد الهيموغلوبين المكون الرئيسي للكريات الحمراء، ويتألف من قسم بروتيني يدعى الغلوبين الذي يتألف من أربع سلاسل ببتيدية (ألفا$_2$+بيتا$_2$)، تحوي كل منها صباغاً يعرف بالهيم Hema، (الشكل رقم 6). ويتألف الهيم إضافة إلى الحديدي من أربع حلقات بيرولية مرتبط مع بعضها بروابط ميتانية.



الشكل رقم (6): البنية الأساسية لجزيء خضاب الدم

لاحظ ارتباط معقدات الهيم الأربع معاً لتشكيل جزيء الخضاب

يلعب الهيموغلوبين دوراً كبيراً في نقل الغازات التنفسية، وقد وجد أن كل جزئية هيموغلوبين يمكنها حمل أربع جزئيات أكسجين، لأن كل جزئية أكسجين ترتبط بزمرة هيم واحدة من الزمر الأربع المكونة لجزيء الهيموغلوبين، ويكون هذا الارتباط ضعيفاً وعكوساً ولا يؤدي إلى تغير القيمة الاتحادية للحديدي، ويدعى الهيموغلوبين المرتبط بالأكسجين بالأوكسي هيموغلوبين Oxyhemoglobin. إضافة إلى ذلك يساهم الهيموغلوبين في الحفاظ على درجة PH الدم.

ويتراوح وسطي كمية الهيموغلوبين في الكريات الحمر ما بين (13.5-18 غ/100سم^3) عند الذكور و(12-16 غ/100سم^3) عند الإناث. علماً أن وسطي كمية الهيموغلوبين عند الإنسان العادي تساوي (14.5غ\100سم^3). وبما أن كل (1) غ من الهيموغلوبين يرتبط مع (1.34) مل من الأكسجين، فكمية الأكسجين في الجسم عندما يكون الضغط الجزئي للأكسجين أكبر من 1ملم/زئبقي تساوي :

14.5×1.34= 20 مل أكسجين

وهناك اختلافات في كمية الهيموغلوبين تبعا لحالات فيزيولوجية أو مرضية. تزداد كمية الهيموغلوبين في حالتين:

- فيزيولوجياً (كثرة الحمر Erythrothemia):

1- أثناء الكرب والانفعال.

2- عند الأطفال حديثي الولادة.

3- عند سكان المرتفعات.

4- عند المدخنين.

- مرضياً (احمرار الدم Polycythemia):

1- أمراض القلب الوراثية.

2- أمراض الرئة.

3- في حالات التجفاف وفقدان كميات كبيرة من السوائل.

وتنخفض كمية الهيموغلوبين في حالات نقص الحديد، ونقص فيتامين B12، والإصابة بفقر الدم الانحلالي وفقر الدم اللا تنسجي.

هـ- حياة الكريات الحمر:

إن شدة نشاط الكريات الحمر وعدم اشتمالها على النواة مدعماً إلى سرعة تلفها، فهي لا تعيش أكثر من (120) يوماً في الأحوال السوية. ويقدر ما يهلك من الحمر يوميا 25× 10/10، تتحطم داخل الدورة الدموية ويساعد على ذلك الطحال والكبد وذلك بسبب تعرض جدار الكريات الحمر لضغوط كيميائية وميكانيكية مختلفة ينجم عنها تغير في سلامته، مما يبدو هشاً فيتمزق أثناء عبورها المناطق الصلبة من الدوران وخاصة عندما تنحشر في اللب الأحمر للطحال، إذ لا تزيد المسافة بين الحويجزات البنيوية للب على (3) ميكرومتر بالموازنة مع قطر الكرية البالغ (8) ميكرومتر. لذلك استئصال الطحال يؤدي إلى زيادة ملحوظة في الكريات الحمر الشاذة في الدوران. بعد تحطم الكريات الحمر تتكسر إلى أجزاء تبتلعها الخلايا الشبكية البطانية (البالعات الكبيرة) ولاسيما الموجودة في الكبد (خلايا كوبفر Kupeffer) والطحال ونقي العظم، ويستخلص عنصر الحديدي خلال الساعات اللاحقة الذي ينقل بوساطة الترانسفيرين إما إلى نقي العظم ليشارك في إنتاج كريات حمر جديدة أو ينقل إلى الكبد والنسج الأخرى لتخزينه بشكل فيرتين. أما ما تبقى

من جزيء الهيم فيتحول إلى صباغ البيليروبين Bilirubin الذي يتحرر إلى الدم، ثم يطرح عن طريق الكبد والكليتين. أما الغلوبين الناتج عن تحطم الهيموغلوبين فالجسم يستفيد منه كمادة طاقية لإنجاز العمليات الحيوية.

2- الخلايا البيض Leukocytes:

الخلايا البيض خلايا حقيقية تختلف عن الكريات الحمر ببعض الصفات كفقدان اللون واحتوائها على النواة والجسيمات الكوندرية وجهاز كولجي.

إن الكريات الحمر عناصر خاصة بالدم فلا تخرج منه إلا في حالات مرضية، أما الخلايا البيض فتبدي نشاطها في النسيج الضام وليس الدم بالنسبة لها إلا طريقا تسلكه لتصل إلى الأماكن التي تبدي نشاطها. حياتها قصيرة ضمن الدورة الدموية لا تتجاوز (10) ساعات، ثم تنسل بفضل أرجل كاذبة عبر مسام في الأوعية الدموية إلى الأنسجة ولا تعود بعدها إلى الدورة الدموية.

يتراوح عدد الخلايا البيض في دم الإنسان عند البالغين ما بين (4000–11000) خلية/ملم^3، ولكن هذا العدد يخضع لتغيرات يومية حيث يزداد عددها بعد الظهر ثم يعود الى قيمته الطبيعية في صباح اليوم التالي، كما يخضع تعداد الخلايا البيض لتغيرات فيزيولوجية ومرضية حيث يزداد في أثناء القيام بجهد عضلي، وأثناء الشدة النفسية وأثناء الاصابة بالإنتانات، بينما ينقص عددها في حالات سوء التغذية وأثناء الصيام المديد وأثناء الإصابة بفقر الدم اللا تنسجي.

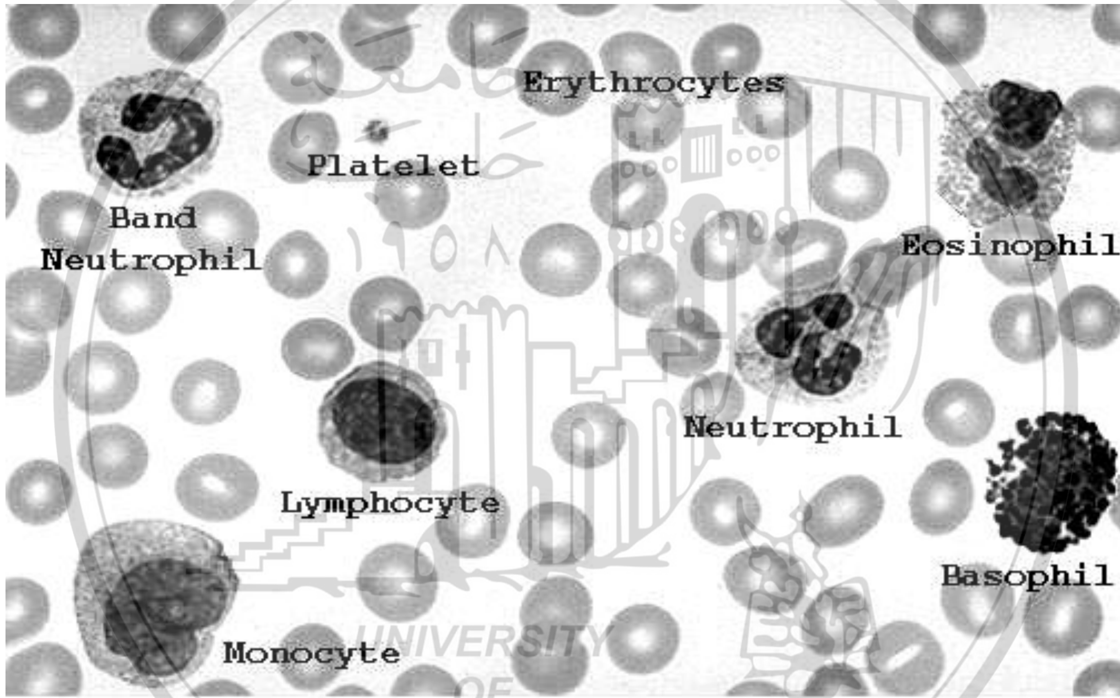
تتكونّ الخلايا البيض في نقي العظم اعتباراً من خلايا جذعية نقويه Myeloid Stem Cell غير متمايزة وذلك بوجود العامل الخارجي (الالتهاب)، ووجود عامل النمو والتمايز انترلوكين Interleukin الذي تشكله الخلايا الليفية والبلعمية والخلايا التائية المساعدة. يغادر قسم ضئيل من الخلايا البيض لا تتجاوز نسبته 4-5% من مجموع الخلايا البيض الناضجة في نقي العظم إلى الدم المحيطي ومنه إلى مختلف أنسجة الجسم حيث تمارس وظيفتها الدفاعية ضد الأجسام الغريبة، الأمر الذي يفسر دفاعات الجسم ضد الأجسام الغريبة عدة أيام رغم تأذي نقي العظم.

أ- تصنيف الخلايا البيض:

تصنف الخلايا البيض تبعاً لغنى سيتوبلاسماها بالحبيبات أو افتقارها إليها، إلى خلايا بيض حبيبية Granulocytes وخلايا بيض عديمة الحبيبات A Granulocytes

1- الخلايا البيض الحبيبية Granulocytes:

تتميز الخلايا البيض الحبيبة بنواها المفصصة وسيتوبلاسماها الغنية بالحبيبات، وتضم الخلايا البيض الحبيبة ثلاثة أنواع من الخلايا: الخلايا الحامضية Eosinophils والخلايا الأساسية Basophiles والخلايا المعتدلة Neutrophils، (الشكل رقم 7).



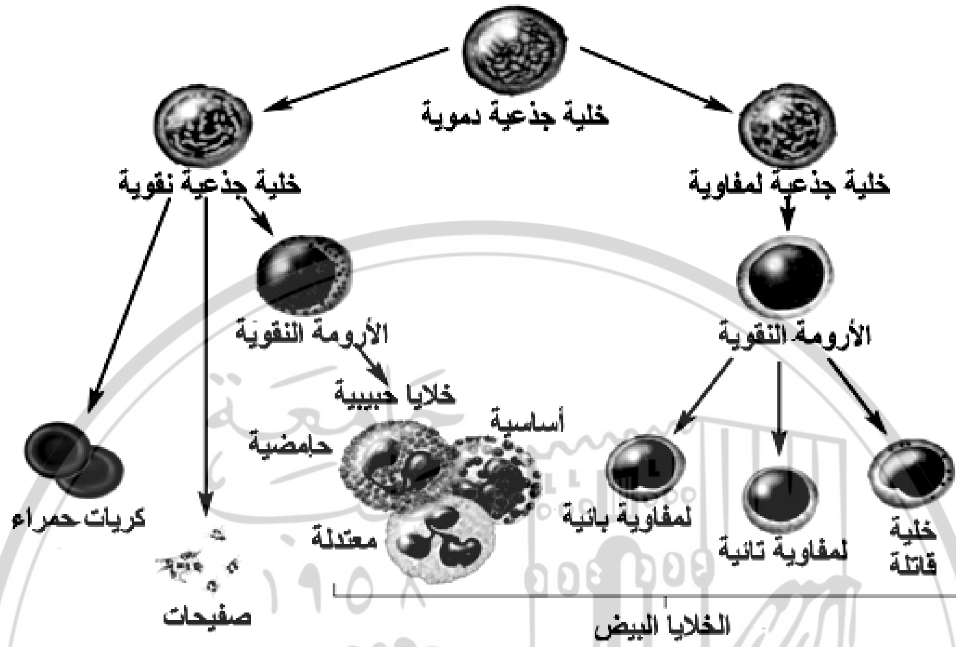
الشكل رقم (7) أنواع الخلايا البيض

أ- الخلايا البيض الحامضية Eosinophils:

تتكونّ الخلايا البيض الحامضية في نقي العظم ابتداءً من الخلايا الجذعية النقويه تحت تأثير محرضات تطلق من الخلايا البدينة مثل الهستامين وبوجود عامل النمو والتمايز من طبيعة انترلوكين(5) الذي تشكله الخلايا التائية المساعدة، (الشكل رقم8).

تتراوح نسبة الخلايا البيض الحامضية في الدم المحيطي بين 2-5% من مجموع الخلايا البيض. النواة مفصصه إلى فصين و السيتوبلاسما تتلون حبيباتها بالأحمر بفعل الإيوزين. الخلايا البيض الحامضية تستطيع أن تهاجم الطفيليات وتقتلها، الأمر الذي

يفسر كثرتها في أثناء الإصابة بالديدان الطفيلية وأمراض الحساسية حيث تعمل عمل مضاد هيستامين وتقوم بالمساهمة بحل الجلطات الدموية.



الشكل رقم (8): مراحل تكوين الخلايا البيض

ب-الخلايا البيضاء الأساسية Basophiles:

تتشكل الخلايا البيض الأساسية في نقي العظم ابتداءً من الخلايا الجذعية النقويه تحت تأثير محرضات تطلق من النسيج المصاب وبوجود عامل النمو والتمايز من طبيعة انترلوكين (4) الذي تشكله الخلايا التائية المساعدة. النواة مفصصه إلى فصين مندمجين لا يمكن التميز بينهما وتشغل نصف حجم الخلية ويغلب على شكلها حرف S، والسيتوبلاسما تتلون حبيباتها بالأزرق بفعل أزرق الميتلين. نسبة الخلايا البيض الأساسية في الدم المحيطي تتراوح بين 0.5-1 % من مجموع الخلايا البيض. حبيبات الخلايا البيض الأساسية غنية بالهيبارين الذي يمنع تخثر الدم ويساعد في استقلاب الدهون، وبالهيستامين الذي يعمل على زيادة النفوذية عبر الأوعية وحدوث التخثر.

ج- الخلايا البيض المعتدلة Neutrophils:

تتكونّ الخلايا البيض المعتدلة في نقي العظم ابتداءً من الخلايا الجذعية النقويه تحت تأثير محرضات تطلق من النسيج المصاب وبوجود عامل النمو والتمايز من طبيعة

انترلوكين (1) الذي تشكله الخلايا البلعمية والليفية. تبلغ نسبة الخلايا البيض المعتدلة حوالي 70% من مجموع الخلايا البيض الموجودة في الدوران عند البالغين. النواة مفصصه ويختلف عددها من (2-5) فصوص، والسيتوبلاسما تتلون حبيباتها بالبنفسجي بفعل الملونات المعتدلة.

تعد الخلايا البيض المعتدلة خط دفاع أول عن الجسم لأنها تعمل في وسط قلوي ولقدرتها على افتراس العوامل الممرضة بوساطة البلعمة، وهي تتمكن من اختراق بطانة الشعيرات الدموية والانتقال بفعل حركتها المتحولية متجهة إلى النسج المتضررة، يساعدها في ذلك وجود مستقبلات ذات انجذاب كيميائي للمواد الكيميائية التي تنشأ في موقع الالتهاب.

2- الخلايا البيض عديمة الحبيبات A granulocytes:

تتميز الخلايا البيض عديمة الحبيبات باختلاف أحجامها وبعدم تجزؤ نواتها وبخلو سيتوبلاسماها من الحبيبات، وهي أقل وجوداً في الدم المحيطي من الخلايا البيض الحبيبية، لأنها سرعان ما تغادر الدم إلى الأنسجة الضامة والأوعية اللمفية. وتضم الخلايا البيض عديمة الحبيبات نوعين من الخلايا:

أ-الخلايا البيض وحيدات النوى Monocytes:

تتكونّ وحيدات النوى في نقي العظم ابتداءً من الخلايا الجذعية النقويه بتأثير محرضات تطلق من النسيج المصاب وبوجود عامل النمو والتمايز من طبيعة انترلوكين (6) الذي تشكله الخلايا البلعمية والليفية، تبلغ نسبتها بين 3-8% من مجموع الخلايا البيض. نواتها غير مفصصه وغالباً ما تأخذ شكل الكلية أو حدوة الحصان. وظيفتها الدفاع عن الجسم عن طريق البلعمة وتساعد على إعادة بناء الأنسجة المحطمة بعد الالتهابات. تبقى وحيدات النوى في الدم حوالي (10) ساعات، ثم تنتقل بعدها إلى الأنسجة المختلفة حيث تتكاثر بالانقسام وتتحول إلى بالعات كبيرة تحيط بالأجسام الغريبة وتعمل على تفكيكها. ونظراً إلى انخفاض عدد الوحيدات في الدم المحيطي، وأنها أبطا نضجاً من الخلايا البيض المعتدلة وأنها تعمل في وسط حامضي، يفسر سيطرتها في موقع الالتهاب في الأمراض المزمنة.

ب- الخلايا البيض اللمفية (اللمفاويات) Lymphocytes:

تشكل نسبة اللمفاويات 20% من مجموع الخلايا البيض في الدم. تتكونّ الخلايا اللمفية اعتباراً من الخلايا الجذعية اللمفاوية Lymphoid Stem Cell في نقي العظم تحت تأثير الانترلوكين (1). نواتها غير مفصصه وغالباً ما تأخذ شكل دائري. وبخلاف الخلايا البيض الأخرى تتميز اللمفاويات بقدرتها على العودة إلى الدم المحيطي بعد أن غادرته إلى الأنسجة المصابة، وأنها تعيش لفترة طويلة من الزمن. وبناءً على ذلك اللمفاويات تشكل جزءاً مهماً في ظاهرة المناعة المكتسبة بنوعيها الخلوية والخلطية.

وتقسم اللمفاويات تباعاً لمراكز تمايزها ووظائفها إلى لمفاويات بائية ولمفاويات تائية.

1- اللمفاويات البائية B- lymphocytes:

تبلغ نسبتها حوالي 25% من مجموع الخلايا اللمفية الموجودة في الدم المحيطي. تنشأ وتتمايز في نقي العظم، وتخزن في الأعضاء اللمفاوية (الطحال والعقد اللمفاوية). وتعد الخلايا اللمفية البائية مسؤولة عن المناعة الخلطية، فبعد أن تدخل في تماس مع الأجسام الغريبة في الأعضاء اللمفية، يخضع العديد منها إلى مجموعة من التغيرات التي تؤدي إلى تحولها إلى لمفاويات كبيرة تسمى بالخلايا المصورية أو البلازمية Plasmocytes التي تقوم بإنتاج الغلوبولينات المناعية.

تتراجع اللمفاويات الكبيرة إلى لمفاويات بائية صغيرة عند الانتهاء من عملها، الأمر الذي يفسر جعلها خلايا ذاكرة تكون مسؤولة عن الاستجابة المناعية السريعة كلما واجهت المستضد نفسه.

2- اللمفاويات التائية T- lymphocytes:

تبلغ نسبتها حوالي 75 % من مجموع الخلايا اللمفية الموجودة في الدم المحيطي. تنشأ في نقي العظم وتتمايز في غدة التيموس. وتعد الخلايا اللمفية التائية مسؤولة عن المناعة الخلوية ورفض الأنسجة المزروعة. وللمفاويات التائية عدة أنواع: التائية المساعدة Helper و التائية القاتلة Killer والتائية المثبطةSuppressor والخلية البدينةCell Mast.

3- الصفيحات الدموية Blood platelets:

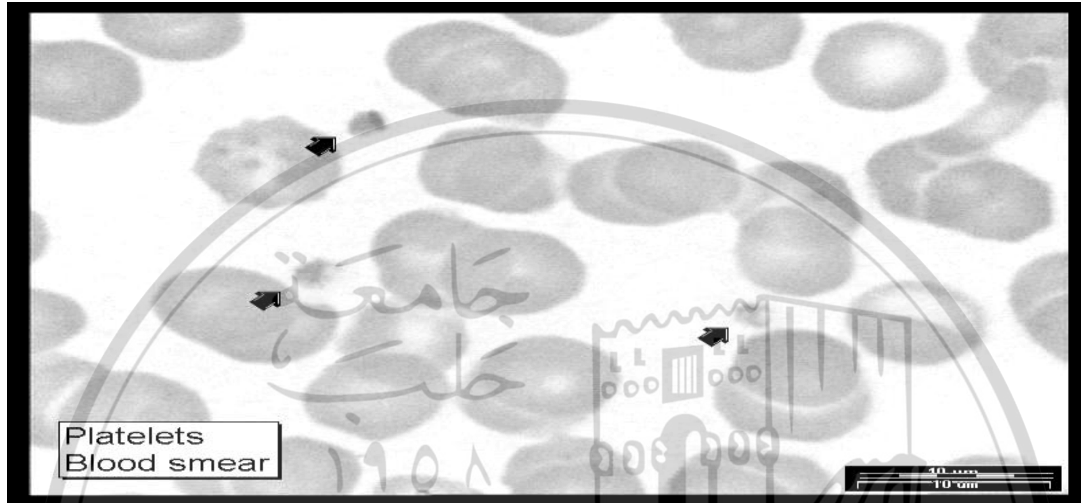
تتكونّ الصفيحات الدموية ابتداءً من الخلايا الجذعية النقويه (النواءات) Megakaryocytes التي تتشكل في الكهوف النقويه لنقي العظم. وبتأثير محرضات خارجية (النزف الدموي) وبوجود عامل النمو والتمايز Thrombopoietin الذي تشكله الكلية. يطرأ على النواءات تبدلات أهمها تشكيل اندفاعات سيتوبلاسمية محاطة بجزء من الغشاء السيتوبلاسمي، تنفصل هذه الاندفاعات بتأثير تقبض غشاء النواءات لتعطي الصفيحات التي تغادر إلى الدم المحيطي، (الشكل رقم 9).



الشكل رقم (9): مراحل تكونّ الصفيحات الدموية

تبدو الصفيحات الدموية في الدوران المحيطي كجسيمات صغيرة مدورة، (الشكل رقم 10)، يتراوح قطرها ما بين (2-3) ميكرون، ويبلغ عددها في الدم بين (150-350) ألف صفيحة في ملم^3 من الدم. عددها عبارة عن عامل استقرار فأي زيادة أو نقصان يعزى إلى حالات مرضية، الزيادة على مليون صفيحة دموية في (1) ملم^3/ دم كما في احمرار الدم أو عند الإصابة بفقر الدم الانحلالي يؤدي إلى تشكل خثرات دموية، بينما نقصانها إلى ما دون (50) ألف صفيحة في (1) ملم^3/دم كما في تليف النقي أو عند

تناول بعض الأدوية مثل التتراسكلين يؤدي إلى نزوفات تحت الجلد وتحت الأغشية المخاطية عند التعرض لأي صدمة خارجية، مما يسبب في تشكيل كدمات بلون أزرق تحت الجلد (مرض الفرفرية). أما نقصانها إلى ما دون (20) ألف صفيحة في(1) ملم^3 /دم فهذا يؤدي إلى نزوفات دموية تلقائية من التجويف الفموي واللثة.



الشكل رقم (10): يوضح شكل الصفيحات الدموية في الدم المحيطي

يتراوح عمر الصفيحات في الدوران ما بين (8-10) أيام تتخرب بعدها بسبب هرمها ليستعاض عنها بصفيحات جديدة. تلعب الصفيحات الدموية دوراً مهماً في وقف النزف الدموي والمحافظة على سلامة الأوعية الدموية.

وعلى الرغم من كون الصفيحات غير قادرة على الانقسام فان سيتوبلاسماها تحتوي على العديد من المكونات التالية :

- خيوط الميوزين والاكتين اللذان يعملان على انكماش الخثرة الدموية على بعضها البعض مما يشكل سدادة تمنع استمرار النزف الدموي.
- السيروتونين Serotonin: الذي يلعب دور مقبض وعائي.
- الأدينوزين ثنائي فوسفات (ADP): الذي يعمل على تجميع الصفيحات الدموية على فوهة الوعاء المجروح.
- عامل التخثر الصفيحي(Platelets Factor (PF3: ويوجد على الغشاء الخلوي للصفيحة وهو ضروري لتشكيل الليفين في المرحلة الأخيرة من عملية الإرقاء.

أ-**عملية الإرقاء Hemostasis:**

الإرقاء يعني وقف النزف الدموي في مكان الأذية بتشكيل خثرة دموية اعتماداً على عوامل بلازمية وصفيحيه وعوامل موجودة في جدار الوعاء الدموي وذلك وفق سلسلة من المراحل:

1- تقلص الوعاء الدموي بتأثير السيروتونين المحرر من قبل الصفيحات الدموية، الأمر الذي يسبب بتقلص العضلات الملساء المكونة لجدر الأوعية الدموية والتقليل من ضياع الدم من الوعاء المجروح.

2- تقارب طرفي الوعاء الدموي المقطوع نتيجة تغير الشحنة على جانبي الوعاء الدموي المجروح (تجاذب الطرفين).

3- تشكيل السدادة الصفيحية على فوهة الوعاء المجروح بتأثير الأدينوزين ثنائي الفوسفات المحرر من قبل الصفيحات الدموية الذي يسبب بتغير شكل الصفيحة وجعلها لزجة ترتبط بألياف الكولاجين غير الظاهرة في الوعاء السليم وظهورها في الوعاء المصاب.

4- التخثر: تخريب الصفيحات الدموية وتحرير عامل التخثر الصفيحي ينشط عملية التخثر.

ويمكن تلخيص الآلية الأساسية في التخثر الدموي:

1- تحرر عامل التخثر الصفيحي Platelets Factor (PF3) من الصفيحات الدموية.

2- عامل التخثر الصفيحي ينشط بروتين غير فعال يدعى طليعة الخثرين ويحولها بوجود شوارد الكالسيوم إلى الخثرين الفعال.

3- تشكل الخثرين ينشط مولد الليفين المنحل وبوجود شوارد الكالسيوم يحوله إلى ليفين غير المنحل.

ب-**الجملة المميعة للدم داخل الأوعية الدموية:**

تتحقق ميوعة الدم في الأوعية الدموية بوجود العوامل التالية:

1-عامل السطح البطاني: تعود أهمية عامل السطح البطاني إلى شحنته السالبة ونعومة سطحه الداخلي، فلذلك لا تستطيع الصفيحات الدموية ذات الشحنة السالبة الالتصاق بالسطح الداخلي بسبب شحنتها السالبة أيضاً.

2- مضاد الخثرين Anti-thrombin وهو عبارة عن مادة بروتينية توجد ضمن المصورة مهمته الإحاطة بالخثرين ومنع أنتشاره في الدوران المحيطي، لأنه عند تشكيل الخثرة الدموية 90 %من الخثرين المتشكل يمتز على سطح ألياف الليفين والقسم الذي لا يمتز يتحد مع مضاد الخثرين وبذلك يبطل تأثيره.

3- الهيبارين: عبارة عن مادة تحررها الخلايا البيض الأساسية، تعمل على الاحاطة بالخثرين وتمنع وصوله إلى مولد الليفين.

4- مضاد البلازمين Plasminogen: عبارة عن مادة غير فعالة تتحول إلى بلازمين بتأثير مواد تحررها الخثرة الدموية نفسها.


جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل الثاني

فيزيولوجيا الدوران

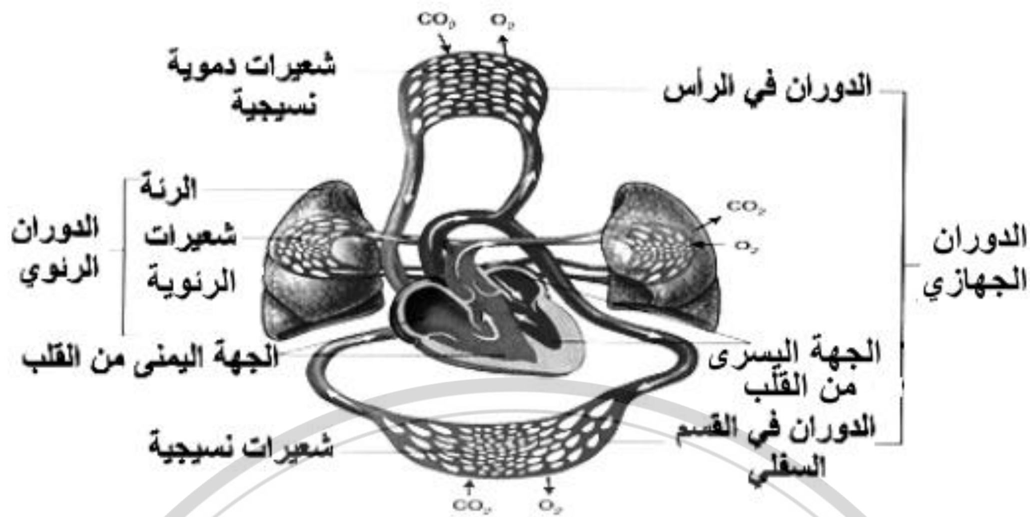
Circulation Physiology

جهاز الدوران عند الإنسان عبارة عن جهاز مغلق من الأوعية المملوءة بالدم الذي يجري باستمرار بفعل عملية الضخ الذي يقوم بها القلب، وهذا الجهاز يتألف من القلب والأوعية الدموية.

تنحصر وظيفة جهاز الدوران في الوقوف على متطلبات النسج، وذلك بنقل المواد الغذائية التي تؤخذ من الوسط المحيط عبر أجهزة الجسم المختصة وإيصالها إلى الخلايا عبر السائل الخلالي الذي يتكون في الأساس من المصورة الدموية التي ترتشح عبر جدران الشعيرات الدموية إلى الفضوات الموجودة بين الخلايا. وتنقل سوائل النسج باتجاه معاكس نواتج اطراح الخلايا إلى الدم مباشرة. كما يؤمن نقل الهرمونات من الأعضاء المنتجة إلى الأعضاء المستجيبة لها. ويبدو أن مثل هذا العمل لجهاز الدوران ضروري لاستتباب مكونات المصورة والسائل الخلالي مما يضمن سلامة الخلايا ويصون وظائفها.

يقسم جهاز الدوران إلى دوران جهازي Systemic Circulation ودوران رئويPulmonary Circulation .

- الدوران الجهازي: يبدأ من الأذين الأيسر الذي ينقبض دافعاً الدم إلى البطين الأيسر، ومن البطين الأيسر إلى الأبهر فالشرايين والشرينات والشعيرات التي تؤمن وصول المواد الغذائية إلى أنحاء الجسم كله، وأخيراً عودة الدم الوريدي عن طريق الأوردة الجوفاء إلى الأذين الأيمن.
- الدوران الرئوي: يبدأ من الأذين الأيمن الذي ينقبض دافعاً الدم إلى البطين الأيمن، ومن البطين الأيمن وعبر الشريان الرئوي إلى الرئتين، ومن ثم عودة الدم عن طريق الأوردة الرئوية إلى الأذين الأيسر، (الشكل رقم 11).



الشكل رقم (11): الدوران الجهازي والدوران الرئوي

1- القلب The Heart:

القلب عضو عضلي يتوضع عند الإنسان في منتصف جوف الصدر بين الرئتين ويميل قليلاً إلى الناحية اليسرى. شكل القلب هرمي قاعدته في الأعلى وتخرج منها الأوعية الدموية، وذروته في الأسفل وتمثل نهاية البطينين.

يحيط بالقلب غشاء رقيق غير مرن يعرف بالتامور Pericardium. يتألف التامور من طبقتين يوجد بينهما مادة سائلة تعمل على تسهيل حركة القلب في أثناء انقباضه وانبساطه.

يقسم القلب ظاهرياً بواسطة ثلاثة أثلام إلى أربع حجرات، الثلم الأذيني البطيني يقسم القلب إلى قسمين، بطيني وأذيني، والثلم بين البطيني يقسم المنطقة البطينية إلى بطين أيمن Right Ventricle وبطين أيسر Left Ventricle، والثلم بين الأذيني يقسم المنطقة الاذينية إلى أذين أيمن Right Atrium وأذين أيسر Left Atrium.

يتصل الأذين الأيمن بالبطين الأيمن عن طريق الفوهة الاذينية البطينية التي يحرسها الدسام مثلث الشرف Tricuspid Valve، ومن جهة أخرى يتصل البطين الأيمن بالشريان الرئوي عن طريق فوهة يحرسها الدسام الرئوي pulmonary Valve، في حين يتصل الأذين الأيسر مع البطين الأيسر عن طريق الفوهة الاذينية البطينية التي يحرسها الدسام ثنائي الشرف أو الدسام الإكليلي Coronary Valve، ومن جهة أخرى يتصل

البطين الأيسر بالأبهر عن طريق فوهة يحرسها الدسام الأبهري Aortic Valve، (الشكل رقم 12).

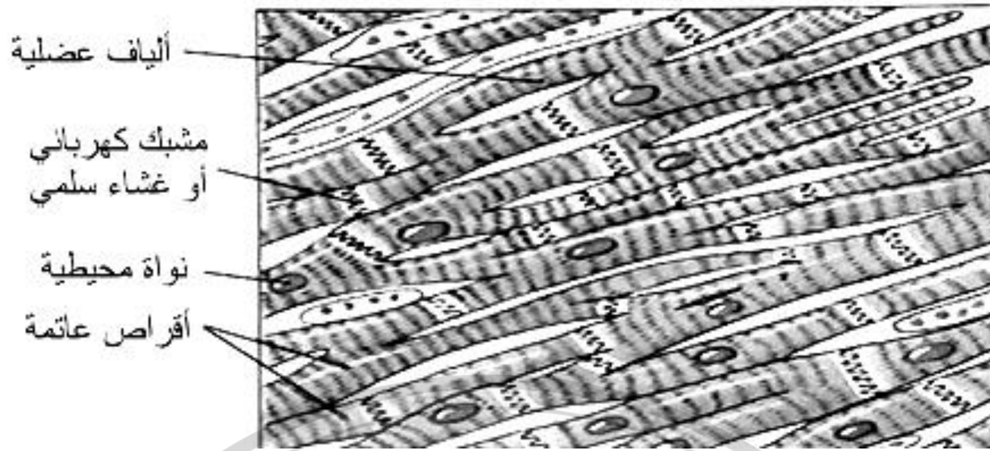
وبما أن عضلة القلب تعمل باستمرار فإنها تحتاج إلى إمداد مستمر من المواد الغذائية والأكسجين والاعصاب. تتلقى العضلة القلبية إمدادها الدموي بوساطة الأوعية التاجية التي تتفرع عن الشريان الابهري، وتتلقى إمدادها العصبي عن طريق الأعصاب الودية التي تنشأ من المنطقة الصدرية العلوية والأعصاب نظير الودية التي تنشأ من البصلة السيسائية.



الشكل رقم (12): مقطع في القلب يظهر توزع الدسامات القلبية

أ- البنية النسيجية للعضلة القلبية:

تمتاز عضلة القلب نسيجياً بخصائص مهمة، فهي تتألف من ألياف عضلية مخططة اسطوانية الشكل متشعبة ومتفاغمة فيما بينها يتصل بعضها ببعض عبر أغشية سلمية (مشابك كهربائية Electrical Synapses) مشكلة بذلك شبكة عضلية يصعب تمييز بداية الخلايا فيها من نهايتها، (الشكل رقم 13).



الشكل رقم (13): البنية النسيجية للعضلة القلبية

تعمل الأغشية السلمية على نقل الدفعات العصبية المتمثلة بكمونات الفعل المنتشرة في أليافها بسرعة من خلية إلى أخرى، الأمر الذي يجعل القلب كأنه خلية واحدة تشكل ما يسمى مدمجاً خلوياً غير حقيقي، بدليل أن تنبيه أي جزء من القلب يؤدي إلى انقباض كل الألياف العضلية القلبية بسرعة فائقة وبآن واحد.

كما يحتوي القلب على عدد من العقد، تتمتع خلاياها بخصائص نسيجية وفيزيولوجية، فهي فقيرة بالبروتينات القابلة للتقلص، وتتميز بعدم استقرار كمون الغشاء أثناء الراحة مما يمكنها من توليد التنبيه الذاتي للعضلة القلبية دون دفعات عصبية أو هرمونية. وأيضاً تمتاز عضلة القلب بالنقل والتوصيل للتنبيه بواسطة الالياف بين العقد بسرعة تفوق سرعة النقل عبر الألياف العضلية المخططة المشكلة لجدران العضلة القلبية (جدران الاذينات والبطينات)، (الشكل رقم 14).

1- **العقدة الجيبية الاذينية Sino-Auricular-Node(S.A.N) :**

تتوضع العقدة الجيبية الاذينية في جدار الأذينة اليمنى بجوار الأجوف العلوي Interior Vena Cava بدليل تقلص الأذينة اليمنى يبدأ قبل تقلص الأذينة اليسرى. تتمتع العقدة الجيبية الاذينية بصفة العمل الذاتي بمعدل يفوق جميع أجزاء القلب لذلك تسمى بناظم الخطى الحقيقي. وتعود هذه الخاصية إلى فشل أغشية العقد في المحافظة على الكمون الغشائي في أثناء الراحة (– 65) ملي فولت، وذلك بسبب زيادة عدد قنوات الصوديوم – الكالسيوم البطيئة على أغشيتها والتي تعمل على ادخال الصوديوم إلى

الحيز داخل الخلوي وعدم قدرة قنوات التعطيل للصوديوم على طرد الصوديوم المتسرب إلى الحيز داخل خلويIntra Cellular .

2- العقدة الاذينية البطينية:Atria-Ventricular-Node (A.V.N) :

تتوضع أسفل الحاجز الفاصل بين الأذينتين بالقرب من فتحة الجيب التاجي. وبما أن الحاجز بين الاذينات حلقة ليفية تمنع انتقال الإثارة الاذينية مباشرة إلى البطينات، فالعقدة الاذينية البطينية هي المكان المخصص لنقل الاثارة المتولدة في العقدة الجيبية الاذينية إلى حزمة هيس. تلعب العقدة الاذينية البطينية دور ناظم خطى حقيقي في حال غياب العقدة الجيبية الاذينية، علماً أنها في الأحوال العادية، فيزيولوجياً تؤخر بين الانقباض الأذيني والانقباض البطيني ويطلق على ذلك (التأخير العقدي) الذي تبلغ مدته حوالي 0.09 من الثانية، الأمر الذي يسمح للأذينات بإفراغ محتواها من الدم قبل تقلص البطينات. يعود سبب التأخير إلى البنية النسيجية الخاصة بالعقدة الاذينية البطينية والتي يكون حجم أليافها أقل مما هو عليه من ألياف العضلة الاذينية، بالإضافة إلى العدد القليل من نقاط الاتصال بين هذه العقدة والألياف التي تؤمن الانتقال السريع لموجة التنبيه إلى حزمة هيس.



الشكل رقم (14): العقد الذاتية (ناظمات الخطى) في القلب

3- **حزمة هيس Bundle of His:**

هي خلايا متفرقة متخصصة تحتوي على كمية قليلة من ألياف الأكتين والميوزين فهي ضعيفة التقلص، لذلك تقتصر وظيفتها على نقل التنبيه من العقدة الاذينية البطينية إلى ذروة القلب لتأمين انقباض جميع أجزاء البطينات في وقت واحد. تقسم حزمة هيس إلى شعبتين يمنى ويسرى على جانبي الحاجز بين البطينين امتداداً إلى ذروة القلب، ثم تتفرع في كتلة البطينات على شكل شبكة ألياف بوركنج.

ب- خصائص العضلة القلبية:

تتصف العضلة القلبية بخاصية التنبه Excitability وخاصية الناقلية Conductivity وخاصية التقلص Contractively. وتتفرد العضلة القلبية بخصائص تميزها عن العضلات الهيكلية وهي: زمن الاستعصاء الطويل والقدرة على التقلص الذاتي.

1- **الانقباضContractively:**

تستجيب العضلة القلبية للمنبه الكافي بالتقلص. وبما أن العضلة القلبية تعمل على مبدأ الكل أو العدم، الأمر الذي يفسر أن زيادة القوة الانقباضية القلبية لا تتعلق بزيادة شدة المنبه وإنما بتأثير عوامل أخرى، هي:

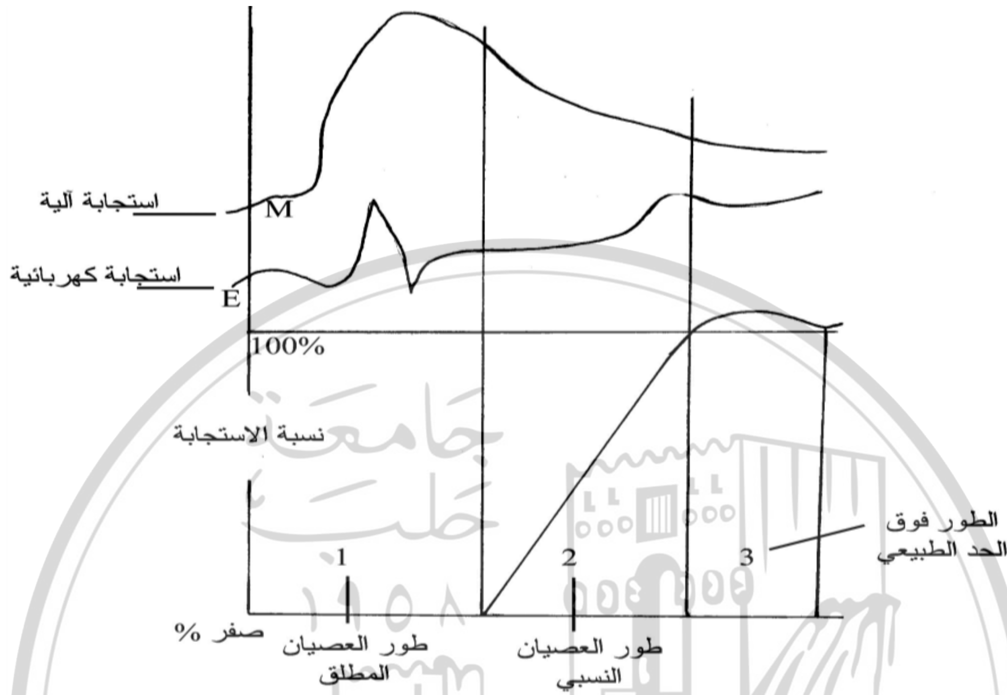
- زيادة طول الليف البدئي قبل بدء التقلص.
- زيادة تركيز شوارد الكالسيوم داخل الليف القلبي.
- وجود الأدرينالين المفرز من لب الكظر.
- الجملة الودية.

بينما الكحول والسموم ونقص الأكسجين و زيادة نشاط الجملة نظيرة الودي تنقص القوة الانقباضية القلبية.

2- **قابلية التنبيه Excitability:**

إضافة إلى استجابة القلب للتنبيهات الدورية الطبيعية الصادرة عن ناظمات الخطى استجابته للمنبهات الداخلية أو الخارجية ذوات الشدة والزمن الملائمين. لذلك عند تطبيق

منبه على القلب شدته أعلى من مستوى عتبة التنبيه يجب مراعاة فترة انعدام قابلية التنبيه وفترة قابلية التنبيه، (الشكل رقم 15):

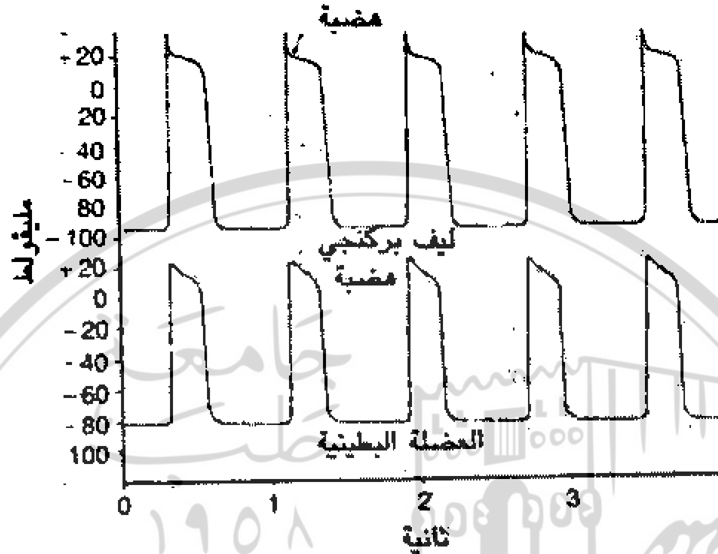


الشكل رقم (15): مخطط قابلية التنبيه للعضلة القلبية

أ- فترة انعدام قابلية التنبيه: تستمر هذه الفترة طيلة فترة الانقباض المتوافقة مع دخول شوارد الصوديوم عبر قنوات الصوديوم التفعيلية وقنوات الصوديوم – الكالسيوم البطيئة المميزة لغشاء العقد إلى الحيز داخل الخلوي.

وخلال هذه الفترة لا يستجيب القلب للمنبهات مهما كانت شدتها وتدعى هذه الفترة بالعصيان المطلقAbsolute Refractory. دخول شوارد الصوديوم الكبير يحافظ على فترة أطول لكمون الفعل ويعطي لكون الفعل القلبي شكل هضبة، الأمر الذي يسمح لشوارد الكالسيوم أن تلعب دورها في إثارة التقلص، (الشكل رقم 16). وأيضا من العوامل التي تساعد في تشكيل الهضبة هو أنه خلال فترة عمل الأقنية التفعيلية للصوديوم تنخفض نفوذية غشاء العقدة للبوتاسيوم فينقص خروج البوتاسيوم، وعند انغلاق القنوات التفعيلية للصوديوم تزداد النفوذية للبوتاسيوم متزامنة مع دخول الصوديوم عبر القنوات البطيئة مما يعيد كمون الغشاء الى مستواه الطبيعي (– 65 ميلي فولت). طول فترة العصيان في القلب تؤمن له الراحة المناسبة حيث تقوم العضلة القلبية بتعويض المركبات

المستهلكة أثناء الانقباض مثل الفوسفوكرياتين وATP هذا من جهة، وحماية القلب من التكزز من جهة اخرى. وهذا ما يفسر قدرة القلب على الانقباض بتواتر منتظم طيلة الحياة.



الشكل رقم (16): كمون عمل ليف عضلي قلبي

ب- فترة قابلية التنبيه: تعود قابلية التنبيه تدريجياً مع دخول القلب في طور الاسترخاء المتوافقة مع خروج شوارد البوتاسيوم إلى الحيز خارج الخلوي Extra Cellular، وأخيراً تصل قابلية التنبيه تدريجياً إلى حدها الطبيعي في نهاية فترة الاسترخاء وتسمى هذه الفترة بالعصيان النسبي .Relative Refractory أي إن تنبيه القلب بالشدة المطبقة نفسها يسبب في انقباض القلب انقباضاً ضعيفاً، لذلك استجابة القلب القوية مشروطة بشدة أعلى من العتبة الاعتيادية، بدليل كلما اقترينا من نهاية عودة الاستقطاب قلت عتبة التنبيه وصولاً الى الحد العتبوي الطبيعي.

يلي فترة قابلية التنبيه مرحلة تزداد فيها قابلية التنبيه على الحد الطبيعي، الأمر الذي يفسر تسرب شوارد الصوديوم إلى الحيز داخل خلوي عبر قنوات الصوديوم – الكالسيوم البطيئة متوافقاً مع خروج شوارد البوتاسيوم، وخلال بضعة أعشار الثانية تنغلق قنوات البوتاسيوم وتفوق شوارد الصوديوم المتسربة نحو الداخل شوارد البوتاسيوم المتدفقة نحو الخارج، مما يرفع الكمون الغشائي من – 65 إلى– 60 ميلي فولت المستوى التي تفتح عنده قنوات الصوديوم التفعيلية وتنطلق دورة قلبية جديدة.

وحسب المعطيات السابقة إذا نبهنا قلب الضفدع بمنبه خارجي في القلب وهو في طور التقلص فالقلب لا يستجيب للمنبه بالانقباض مهما بلغت شدة المنبه لأنه في فترة العصيان المطلق، في حين إذا جاء المنبه والقلب في طور الاسترخاء يستجيب بتقلصه إضافية Extra Systole. ويعلل ذلك بتواقت وصول المنبه والقلب في فترة العصيان النسبي، ويعقب طور التقلص الإضافي فترة استراحة تعويضية Compensatory Pause سببها أن التنبيه الطبيعي الصادر عن ناظم الخطى جاء في زمن التقلص الإضافي، (الشكل رقم 17).



الشكل رقم (17): مخطط يشير إلى التقلص الإضافي للقلب والاستراحة التعويضية عند الضفدع

3- الناقلية Conductivity:

تتصف عضلة القلب بقدرتها على نقل التنبيهات الناشئة في القلب من العقدة الجيبية الاذينية إلى الاذينة اليسرى والعقدة الاذينية البطينية عبر جدران الاذينات والألياف بين العقد Intermodal Pathway. علماً أن سرعة التوصيل عن طريق الألياف بين العقد تساوي 1م/ثا، بينما سرعة التوصيل عن طريق جدران الاذينات تساوي 0.3م/ثا. ومن العقدة الاذينية البطينية ينتقل التنبيه إلى حزمة هيس وتفرعاتها(ألياف بوركنج) فيثار الحاجز بين البطيني وينتشر التنبيه في أرجاء البطينات كلها وصولاً إلى ذروة القلب وبعده إلى التامور، وأخر منطقة يصلها التنبيه هي شغاف قاعدة البطين الأيسر بسبب سماكته.

4- الذاتية Automatic:

هي قدرة القلب على تفعيل ذاته بذاته دون إثارة خارجية، حيث يستجيب للتنبيهات الدورية الناشئة في العقدة الجيبية الاذينية بالانقباض الدوري. أي لا يتطلب وجود

الأعصاب، بدليل إذا عزلنا القلب عن الجسم ثم وضعناه في جو مناسب من التهوية والحرارة والتغذية فإنه يستمر بالخفقان (75) نبضة بالدقيقة، وأكبر دليل على ذاتية القلب هو خفقان قلب الجنين قبل وصول الأعصاب إليه، وتتأثر صفة الذاتية بعدة عوامل:

أ–درجة الحرارة: تتغير سرعة ضربات القلب بتغيرات درجة الحرارة، ويتعلق الأمر بحالة الجسم الاستقلابية. فهناك تناسب طردي بين سرعة ضربات القلب وحالة الجسم الاستقلابية، بدليل ارتفاع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة تؤدي إلى زيادة سرعة ضربات القلب حوالي 12 نبضة/دقيقة، لأن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من تهيج غشاء ناظمات الخطى.

ب– الشوارد المعدنية: تعد شوارد الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم ضرورية لعمل القلب. بدليل أن القلب المعزول يمكن أن يستمر بالخفقان إذا تمت ترويته بمحلول يحتوي على الشوارد سابقة الذكر وبتركيز مساو لتركيزها في المصورة الدموية.

1– شوارد الكالسيوم: مسؤولة عن التقلص وارتفاع نسبتها في المصورة الدموية تسبب وقف عضلة القلب في طور التقلص.

2– شوارد الصوديوم: مسؤولة عن بدء واستمرار الضربات القلبية وارتفاع نسبتها في المصورة الدموية تسبب وقف عضلة القلب في طور الاسترخاء.

3- شوارد البوتاسيوم: عملها يعاكس عمل شاردة الكالسيوم فهي مسؤولة عن الاسترخاء، وارتفاع نسبتها في المصورة الدموية تسبب وقف عضلة القلب في طور الاسترخاء.

أما الشوارد السالبة فليس لها أي تأثير على ذاتية القلب.

ج– درجة PH: يقوم الجسم بفضل الجملة الدارئة بالمحافظة على درجة pH الطبيعية للدم 7.35، لأن ارتفاع درجة PH إلى قيمة أعلى من 7.35 يؤدي الى حدوث القلاء Alkalemia، الأمر الذي يسبب في حدوث التكزز العضلي وتوقف القلب في طور التقلص، بينما انخفاض درجة PH إلى قيمة أقل عن 7.35 يؤدي إلى حدوث حماض Acidosis، الأمر الذي يسبب في تثبيط العقدة الجيبية الاذينية وتوقف القلب في طور الاسترخاء.

د- الأكسجين: حرمان القلب المطلق من الأكسجين يؤدي إلى توقف العضلة القلبية ونقص وروده إلى القلب يضعفه.

ج-**الدورة القلبية:**

هي فعالية مستمرة تمر عبر مراحل متكررة طيلة الحياة، وخلال كل دورة يمر كل جزء من القلب بفعالية حركية تليها راحة استجابة لإزالة الاستقطاب وعودته.

الدورة القلبية هي الفترة التي تمتد من بدء ضربة قلبية إلى بدء الضربة التالية والتي تبلغ مدتها (0.8) ثانية اذا كانت سرعة ضربات القلب 75ضربة/د. وتمر الدورة القلبية بطورين، (الشكل رقم 17):

1- طور الانقباض Systole ويقسم إلى طورين :

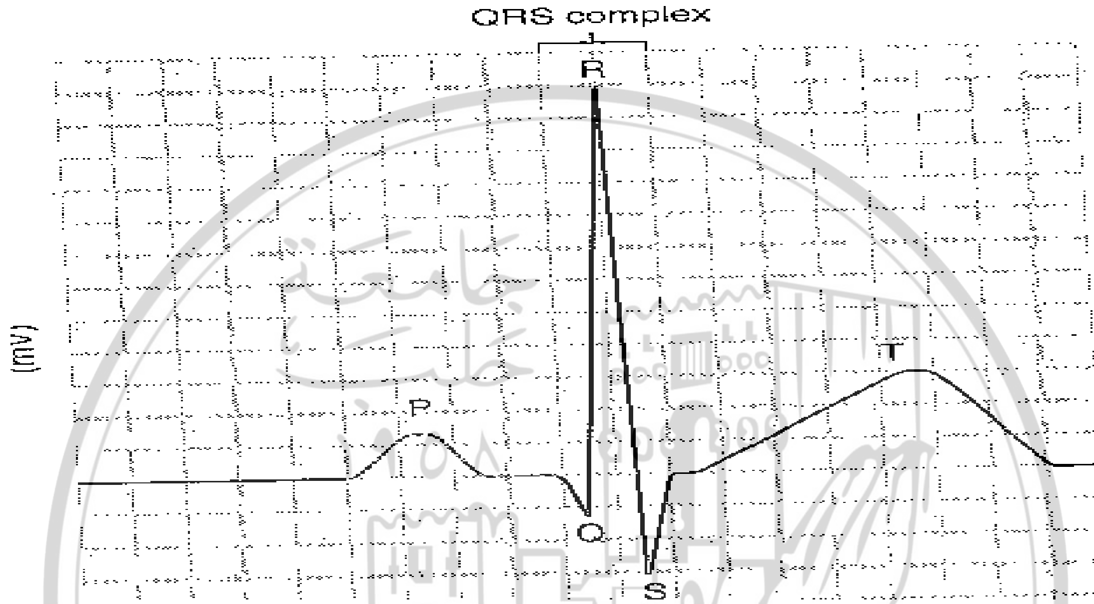
أ- طور الانقباض الأذيني Atrial Systole: ويستغرق زمن قدره 0.1 ثانية، ويعبر عنه في مخطط كهربائية القلب بالموجة P. والموجة P تبدأ قبل الانقباض الأذيني وهي تمثل إزالة استقطاب الأذينين. ويبدأ طور الانقباض الأذيني بانقباض الأذينتين معاً انقباضاً ضعيفاً و الدسامات الاذينية البطينية مفتوحة، مما يؤدي لاندفاع الدم إلى البطينات التي تكون بحالة استرخاء مما يزيد من حجم البطينات وارتفاع الضغط فيهما.

ب- طور الانقباض البطيني Ventricular Systole: ويستغرق زمناً قدره 0.3 ثانية، ويعبر عنه في مخطط كهربائية القلب بالمعقد QRS. والمعقد QRS يعبر عن إزالة استقطاب البطينات (الموجة Q سالبة وتعبر عن وصول التنبيه إلى العقدة الاذينية البطينية – الموجة R موجبة انتشار التنبيه في كتلة البطينات – الموجة S سالبة وصول التنبيه إلى قاعدة البطين الأيسر).

ويبدأ طور الانقباض البطيني بفترة الانقباض متساوي الطول التي تعبر عن بداية الانقباض البطيني نتيجة ارتفاع الضغط في البطينات وانغلاق الدسامات الاذينية البطينية وانفتاح الدسامات السينية مما يؤدي إلى اندفاع الدم باتجاه البطينات، ثم يلي ذلك فترة الدفق الأعظمي التي تعمل عل دفع الدم بقوة من البطينات عبر الشريان الرئوي والأبهر.

2- طور الانبساط Diastole: ويستغرق زمناُ قدره 0.4 ثانية، ويعبر عنه في مخطط كهربائية القلب بالموجة T. والموجة T تعبر عن إزالة استقطاب البطينات. ويبدأ طور

الانبساط متزامنا مع انغلاق الدسامات السينية وانخفاض الضغط في الاذينات، الأمر الذي يسمح بتجمع الدم في الاذينات أثناء الانقباض البطيني، ثم يلي ذلك فترة الارتخاء متساوي الطور ومرور الدم إلى البطينات نتيجة ارتخاء البطينات وانفتاح الدسامات الاذينية البطينية.



الشكل رقم (17): مخطط كهربائية القلب

د-تنظيم عمل القلب:

يضخ قلب الإنسان في حالة النشاط الطبيعي من 5 إلى 6 ليتر في الدقيقة داخل الدورة الدموية. ولكن عدم استقرار الظروف المحيطية تفسر وجود الإمداد العصبي للقلب، وخلال ذلك يستجيب القلب في كل لحظة لمتطلبات الجسم ويؤمن الدفق الدموي الضروري لكل عضو من أعضاء الجسم. ويعصب عضلة القلب نوعان من الأعصاب الذاتية ، (الشكل رقم 18):

1- الألياف نظيرة الودية وتنشأ من خلايا موجودة في البصلة السيسائية وتنتهي في جدار الأذينة اليمنى وبشكل رئيسي في العقدتين الجيبية والاذينية البطينية. ويؤدي التنبيه نظير الودي (العصب المبهم Vagus Nerves) إلى تحرر الأستيل كولين Acetylcholine الذي إذا ما ارتبط مع المستقبلة المسكارينية M2 الموجودة على أغشية خلايا العضلة الاذينية، سبب في تخفيض تواتر ضربات القلب من خلال

تأثيره في نفوذية أغشية خلايا العقدة مسبباً ازدياد نفوذيتها للبوتاسيوم وبالتالي حصول فرط استقطاب الذي يجعل النسج القابلة للتنبيه أقل تنبيهاً.

2- الألياف الودية وتنشأ من القسم العنقي الصدري العلوي للنخاع الشوكي، وتنتهي في جدار الأذينة اليمنى بجوار العقدة الجيبية الاذينية ومن ثم تتوزع الألياف الودية في أنحاء القلب كله، حيث تكون كثيفة في العضلة البطينية.

تنبيه الألياف الودية المعصبة لعضلة القلب يؤدي إلى تحرير النورابينفرين Norepinephrine من نهاياتها، فإذا ما ارتبط النورابينفرين بالمستقبلة الأدرينالينة من نمط بيتا واحد الموجودة على أغشية العضلة القلبية كلها، سبب في زيادة تواتر ضربات القلب من خلال تأثيره في نفوذية غشاء العقدة مسبباً ازدياد نفوذيتها للصوديوم والكالسيوم، الأمر الذي يسرع من فقدان الاستقطاب الانبساطي وبلوغه عتبة الإثارة الذاتية.

الشكل رقم (18): الامداد العصبي للقلب والمستقبلات

بالإضافة إلى وجود الأعصاب الذاتية المعصبة للقلب يوجد مركزان منظمان لعمل القلب Cardio regulatory center في البصلة السيسائية Medulla oblongata يعملان على تنظيم عمل القلب بما يتناسب مع حاجات الجسم الاستقلابية ، (الشكل رقم 18):

- المركز المسرع للقلب.
- المركز المبطئ للقلب.

علماً أن المركز المسرع للقلب أقوى من المركز المبطئ لعمل القلب.

يستجيب كلا المركزين لمنبهات تأتي من مستقبلات الضغطPressure Receptors ومن المستقبلات الكيميائية Chemoreceptorsالمنتشرة في السطح الداخلي للجيب الأبهري Aorta Body والجيب السباتي Carotid Body للشرايين الجهازية. يتم تنبيه المركز المنظم القلبي عن طريق الألياف العصبية الواردة من مستقبلات التمدد الموجودة في جدار الأذينتين والألياف العصبية الواردة من مستقبلات الضغط والمستقبلات الكيميائية، علماً أن هذه المستقبلات هي من النمط المقوي. ولذلك فان أي تغير في الضغط الجزئي للأكسجين أو ثاني أكسيد الكربون أو تغير في حجم الدم أو الضغط الشرياني سيؤدي انعكاسياً إلى تغير عمل القلب باتجاه المحافظة على استقرار الوسط الداخلي للجسم.

ففي حال ارتفاع الضغط الشرياني أو انخفاض تركيز CO_2 في الدم، تتنبه المستقبلات الكيميائية ومستقبلات الضغط المنتشرة في السطح الداخلي للجيب الأبهري والجيب السباتي، والتي تعمل على تحويل هذه التغيرات إلى ظاهرة كهربائية ممثلة بدفعة عصبية تنقلها الألياف الحسية للعصب البلعومي اللساني والعصب المبهم إلى المركز المسرع للقلب، الأمر الذي يخفض فعالية الألياف الودية وتنشيط المركز المبطئ للقلب الذي يرسل اشاراته الحركية عبر الألياف نظيرة الودية للعصب المبهم، مما يؤدي إلى انخفاض معدل ضربات القلب وبالنتيجة انخفاض الضغط الشرياني وانخفاض نتاج القلب.

أما في حال انخفاض الضغط الشرياني أو ارتفاع تركيز CO_2 تتنبه المستقبلات الكيميائية ومستقبلات الضغط المنتشرة في السطح الداخلي للجيب الأبهري والجيب السباتي، والتي تعمل على تحويل هذه التغيرات إلى ظاهرة كهربائية ممثلة بدفعة عصبية تنقلها الألياف الحسية للعصب البلعومي اللساني والعصب المبهم إلى المركز المسرع

للقلب، الأمر الذي يزيد فعالية هذا المركز واستمرار تأثيره المثبط في المركز المبطئ للقلب من جهة، وإرساله الإشارات الحركية عبر الألياف الودية، مما يؤدي إلى ازدياد معدل ضربات القلب وارتفاع الضغط الشرياني.

إضافة إلى ذلك يعمل هرمون الأدرينالين الذي يفرزه لب الكظر بإيعازات من الجهاز الودي على زيادة في سرعة ضربات القلب، وهذا ما يحصل في حالات الخوف والغضب.

2- الأوعية الدموية Blood Vessels:

وهي عبارة عن قنوات مغلقة تنقل الدم من وإلى جميع أنحاء الجسم. ويوجد خمسة أنواع من الأوعية الدموية وذلك حسب وظيفتها:

أ- الأوعية المرنة: وهي الشرايين الكبيرة (الأبهر والشريان الرئوي) وتتصف بالمرونة لغنى طبقتها المتوسطة بالألياف المرنة وقلة العضلات الملساء، مما يسمح لها بالتمدد بتأثير الضغط المطبق عليها في أثناء الانقباض القلبي وعودتها إلى قطرها الطبيعي بعد زوال القوى الضاغطة. وتتمثل أهمية الأوعية المرنة بتحويل نتاج القلب المتقطع إلى جريان مستمر وتوفير الطاقة، إذ تمتص الصدمة الناجمة عن الدفقة الدموية في أثناء الانقباض لتعيدها خلال الانبساط.

ب- الأوعية المقاومة: وهي الشرايين المتوسطة التي تتصف جدرها بكثرة العضلات الملساء وقلة الألياف المرنة، لذلك تعد المسؤولة عن استمرار جريان الدم في أثناء الطور الانبساطي للقلب، وتقسم هذه الأوعية إلى قسمين:

- شرايين كبيرة قطرها أكبر من 50 ميكروناً، وتتصف بالبنية العضلية وتعمل كقناة مخفضة للمقاومة الوعائية المحيطية.
- شرايين صغيرة قطرها أقل من 50 ميكروناً تشبه في بنيتها الشرايين السابقة بالإضافة إلى وجود دسامات مما دعا إلى تسميتها أوعية تحويلية. تقوم هذه الأوعية بخلق نظام دوران يتناسب مع حالة الجسم، فمثلاً جهاز الهضم والجلد يحتويان على كم كبير من هذه الأوعية التي تسمح للدم بالتوجه من الأعماق إلى الجلد عند ارتفاع درجة الحرارة،

وبالتوجه من الجلد إلى جهاز الهضم في أثناء تناول الطعام، الأمر الذي يفسر شعور الإنسان بالبرد بعد تناول الطعام.

وتعد الدسامات والبنية العضلية لهذه الشرايين المنظم الأساسي لجريان الدم في الشعيرات الدموية وذلك بسبب انقباضها وارتخائها حسب الحاجة الموضعية، فهي المسؤولة عن المقاومة الوعائية المحيطية، (تقلص الشرين يزيد من المقاومة الوعائية المحيطية وتوسع الشرين يقلل من المقاومة الوعائية المحيطية).

ج- الأوعية التبادلية (الشعيرات الدموية): وتتم في مستواها التبادلات الغذائية لأنها مؤلفة من طبقة ظهارية واحدة، وسرعة جريان الدم فيها لا تتجاوز 0.07 سم/ثا.

د- الأوعية التجميعية (الأوردة): وتتصف جدرانها بأنها أقل سمكاً من الشرايين بسبب قلة الألياف المرنة فيها. قلة ثخانة جدر الأوردة وقلة احتوائها على الألياف العضلية الملساء(بالنسبة للشرايين) يسمح بتمدد جدرانها ويعطيها القدرة على تخزين الدم، مما يفسر قدرة الأوردة على تخزين 64% من الدم في الدوران الجهازي. إضافة إلى ذلك تحتوي الأوردة في الأطراف السفلية على دسامات تمنع عودة الدم باتجاه الجاذبية الأرضية. ولا توجد في أوردة الأحشاء والأوردة الصغيرة للدسامات الوريدية دور فيزيولوجي مهم فهي تجزئ الضغط الناجم عن تراكم الدم في أوعية الطرف السفلي في أثناء الوقوف مما يسمح بتبادل طبيعي في الشعيرات وعود طبيعي للدم باتجاه القلب.

3- الضغط الشرياني: Arterial Pressure

هو الضغط الجانبي على جدران الأوعية الدموية الناشئ عن مرور الدم فيها مسبباً تمددها ويقاس بالمليمتر زئبقي. والضغط الشرياني هو محصلة عاملين: نتاج القلب والمقاومة الوعائية المحيطية.

الضغط الشرياني = نتاج القلب × المقاومة الوعائية المحيطية

يتذبذب الضغط الشرياني في الدورة القلبية بين ضغط انقباضي أعظمي Systolic Pressure وضغط انبساطي أصغري Pressure Diastolic.

- الضغط الانقباضي الأعظمي: يتوافق مع طور انقباض عضلة القلب ودفعه الدم إلى الشريان الأبهر ويقدر بـ 120 ملم/ز في الظروف الطبيعية من راحة عقلية وجسدية. ويزداد الضغط الشرياني الأعظمي في حالة زيادة النتاج القلبي وعند الإصابة بتصلب الشرايين مع تقدم العمر.
- الضغط الانبساطي الأصغري: يتوافق مع طور انبساط عضلة القلب ويقدر بـ 80 ملم/ز في الظروف الطبيعية من راحة عقلية وجسدية. يزداد الضغط الشرياني الانبساطي الأصغري بشكل أساسي عند زيادة المقاومة الوعائية المحيطية.

والفرق بين الضغط الشرياني الانقباضي والضغط الشرياني الانبساطي يدعى الضغط النبضي Pulse Pressure.

هذا وتختلف قيم الضغط الشرياني الانقباضي والضغط الشرياني الانبساطي من فرد إلى أخر، وهي تتعلق بعوامل خارجية وعوامل داخلية:

أ- العوامل الخارجية:

1- العمر: تكون قيمة الضغط الشرياني منخفضة عند الأطفال ثم ترتفع مع تقدم العمر ليبلغ عند الشباب 80/120 ملم/ز. ويمكن أن تزداد مع التقدم بالعمر بمعدل 1ملم/ز لكل سنة فيصل في عمر الستين إلى 160\90 ملم/ز. ومن أسباب ارتفاع الضغط الشرياني الأعظمي مع تقدم العمر النقص المتدرج في مرونة الأوعية الدموية والنقص في تمدد الشرايين، بينما ارتفاع الضغط الانبساطي الأصغري يعود إلى زيادة المقاومة الوعائية المحيطية.

2- الجنس: تنخفض قيمة الضغط الشرياني الأعظمي عند الإناث عن المستوى المحدد للذكور وذلك حتى سن اليأس، ويعزى ذلك إلى انخفاض لزوجة الدم عند الإناث، أما أسباب ارتفاع الضغط الشرياني الأعظمي بعد سن اليأس عند الإناث فيعود إلى تأثير الهرمونات الجنسية الأنثوية.

3- الوضعية: تتغير قيم الضغط الشرياني الأعظمي بين وضعتي حالة الاستلقاء والوقوف، فعند الوقوف يختلف الضغط الشرياني الأعظمي بحسب المنطقة التي يقاس فيها وبعدها عن القلب، فمثلاً يكون الضغط الشرياني الأعظمي في الأوعية التي هي

تحت مستوى القلب أعلى من الضغط الشرياني الأعظمي في الأوعية الدموية التي هي على مستوى القلب، بينما يكون الضغط الشرياني الأعظمي في الأوعية التي هي فوق مستوى القلب أقل من الضغط الشرياني الأعظمي عند مستوى القلب وذلك يعود إلى تأثير الجاذبية الأرضية ونقص العود الوريدي.

4- الوزن: تتناسب قيم الضغط الشرياني الأعظمي طرداً مع زيادة الوزن وهذا ما يفسر ارتفاع قيم الضغط الشرياني الأعظمي عند البدينين.

5- النوم: ينخفض الضغط الشرياني الأعظمي في أثناء النوم بسبب انخفاض فعالية الجهاز العصبي الودي، بينما القيام بالأعمال المجهدة والرياضة والانفعالات تسبب ارتفاع الضغط الشرياني الأعظمي نتيجة زيادة النتاج القلبي وتقلص الأوعية الدموية الواقعة بتأثير الجهاز العصبي الودي.

ب- العوامل الداخلية:

1- النتاج القلبي Cardiac output: وهو مقدار ما يضخه البطين من الدم في الدقيقة الواحدة. ويحسب النتاج القلبي من خلال ضرب حجم الضربة القلبية بعدد ضربات القلب في الدقيقة. فإذا علمنا أن حجم الضربة القلبية يساوي 70 مل وعدد ضربات القلب في الدقيقة 70 ضربة بالدقيقة فيكون نتاج القلب حوالي 4900 مل، وكل زيادة على هذه الكمية تسبب ارتفاعاً بالضغط الشرياني الأعظمي.

2- المقاومة الوعائية المحيطية: وهي المقاومة التي يلاقيها الدم في أثناء مروره في الشرايين المتوسطة والصغيرة، علماً ان هذه المقاومة تتأثر بعدة عوامل هي:

أ- اللزوجة الدموية: ارتفاع اللزوجة الدموية بسبب كثرة الحمر يؤدي إلى ارتفاع الضغط الشرياني، في حين انخفاض اللزوجة الدموية بسبب فقر الدم يؤدي إلى انخفاض الضغط الشرياني.

ب- قطر الشرينات: إن تغير قطر الشرينات يؤدي إلى تغير المقاومة الوعائية المحيطية، فتضيق الشرينات يؤدي إلى ارتفاع الضغط الشرياني الأعظمي، وتوسعها يخفض الضغط الشرياني الأعظمي.

وهناك عدة عوامل أساسية تقوم بدور فعال في تغير قطر الشرينات، وهي: العوامل العصبية- العوامل الكيميائية – العوامل الهرمونية.

1-العوامل العصبية:

وتمثل بالأعصاب الوديةSympatic Nervous والأعصاب نظيرة الودية والمركز المحرك الوعائيVasomotor Centerالموجود في التشكيل الشبكي Reticular Formation للبصلة السيسائية وجذع الدماغ Brian stem، والمستقبلات التي تتحسس تغيرات الضغط في الأوعية الدموية(مستقبلات الضغط في الأجسام الأبهرية والسباتية)، وألياف عصبية حسية ممثلة بالعصب البلعومي اللساني والعصب المبهم. يتصل المركز المحرك الوعائي الذي يتحكم بقطر الأوعية عصبياً مع النخاع الشوكي وأليافه الودية المحيطية. ويوجد في المركز المحرك الوعائي منطقتان:

1- منطقة رافعة للضغط Vasopressor.

2- منطقة خافضة للضغط Vasodepressor.

إثارة المنطقة الرافعة للضغط يؤدي للإقلال من نشاط المنطقة الخافضة للضغط.

تتصل المنطقتان الرافعة للضغط والخافضة له بالعصب المبهم الذي يبطئ عمل القلب ويقلل من شدة انقباضه و سرعة النقل فيه.

يرسل المركز المحرك الوعائي من المنطقة رافعة الضغط دفعات عصبية مستمرة تؤثر في القلب فتزيد تقلصه بقوة وعلى الأوعية الدموية فتقلصها جزئياً، وهذا ما يطلق عليه اسم المقوية الوعائية، بدليل أن تثبيط تلك الدفعات يؤدي إلى الإقلال من قوة القلب التقلصية وإلى توسع الأوعية الدموية وانخفاض الضغط الشرياني الأعظمي.

إثارة المنطقة الرافعة للضغط تسبب في تضيق غالبية الأوعية الدموية في الجسم (ما عدا في الدماغ والعضلات الهيكلية) مؤدياً ذلك إلى زيادة العود الوريدي بسبب تضيق الأوردة، الأمر الذي ينجم عنه زيادة المقاومة الوعائية المحيطية التي تضيق الأوعية الدموية وتسبب في ارتفاع الضغط الشرياني.

جميع الأوعية الدموية باستثناء الشعيرات الدموية تعصب بألياف عصبية ودية، التي تعمل على تنظيم كمية الدم التي تغذي أعضاء الجسم، فزيادة نشاط الألياف الودية المعصبة للأوعية الدموية المغذية لعضو ما في الجسم يؤدي إلى نقص التروية عنه

بسبب تضيق لمعة الوعاء الدموي وزيادة المقاومة المحيطية، بدليل قطع العصب الودي العنقي المعصب للوعاء الدموي المغذي لعروة الأذن عند الأرانب مثلا يؤدي إلى تورد الأذن نتيجة توسع الأوعية الدموية فيها، بينما تنبيه النهايات العصبية لهذا العصب يؤدي إلى شحوب الأذن نتيجة تضيق الأوعية الدموية فيها. كما أن الإنسان الخائف لا يقوى على الركض بسبب قلة التروية العضلية الناجم عن تضيق الأوعية الدموية في الحالة الطبيعية بفعل الجهاز العصبي الودي.

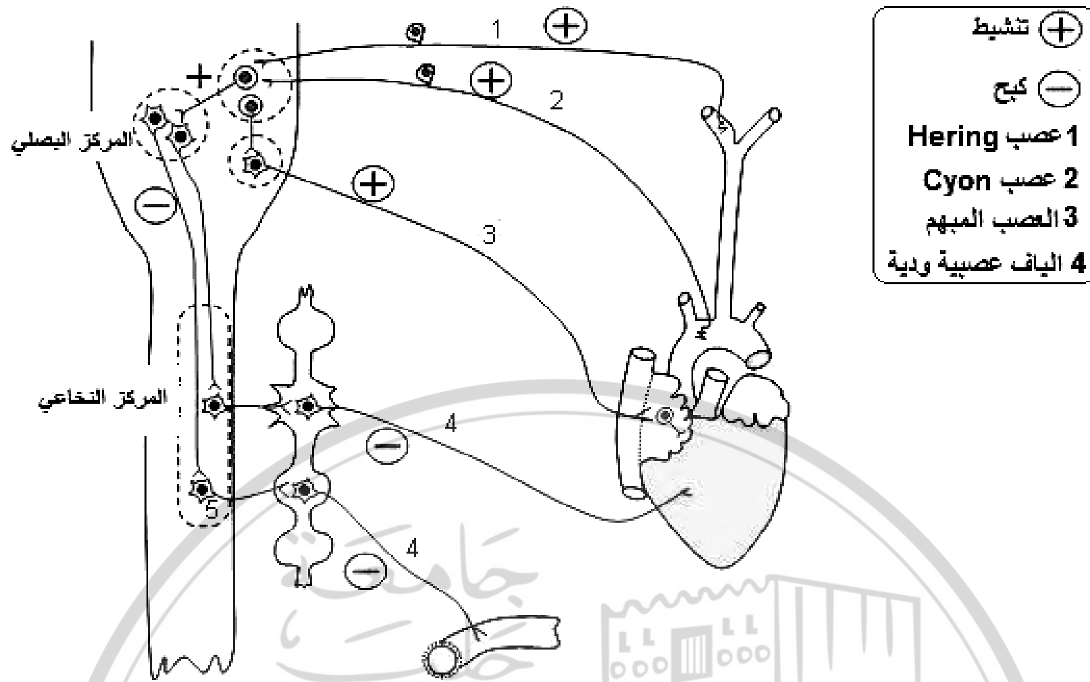
2- العوامل الكيميائية:

تحدث بعض المركبات الكيميائية مثل حمض اللبن Lactic Acid وغاز ثاني أوكسيد الكربون وشوارد الهيدروجين والبوتاسيوم والهيستامين والاستيل كولين تأثيراً خافضاً للضغط الشرياني نتيجة تأثيرها الموسع للأوعية الدموية.

يتم جزء من هذا التأثير عن طريق المركز المحرك الوعائي في التشكيل الشبكي للبصلة السيسائية، والجزء الآخر يتم بشكل انعكاسي نتيجة وصول دفعات عصبية من المستقبلات الكيميائية الموجودة في الأجسام السباتية والأبهرية.

انخفاض الضغط الشرياني أو زيادة تركيز ثنائي أكسيد الكربون في الدم ينبه المستقبلات الكيميائية في الأجسام السباتية والأبهرية، التي تقوم بدورها بتوصيل تلك التغيرات على شكل دفعات عصبية تنبيهية إلى المركز المحرك الوعائي بوساطة الألياف الحسية للعصب المبهم والعصب البلعومي اللساني. يقوم المركز المحرك الوعائي بتنشيط الجهاز الودي الذي يعمل على زيادة المقاومة الوعائية المحيطية للأوعية، وارتفاع الضغط الشرياني وزيادة معدل ضربات القلب لتسريع الدورة الدموية من أجل تخليص الجسم من CO_2 الزائد، (الشكل رقم 19).

في حين أن ارتفاع الضغط الشرياني أو انخفاض تركيز CO_2 في الدم يؤدي إلى تنبيه المستقبلات الكيميائية في الأجسام السباتية والأبهرية، التي تقوم بدورها بتوصيل تلك التغيرات على شكل دفعات عصبية تثبيطيه إلى المركز المحرك الوعائي فيثبط على أثرها الجهاز العصبي الودي، فتتوسع الأوعية الدموية وينخفض الضغط الشرياني الأعظمي ويتناقص معدل ضربات القلب.



الشكل رقم (19): آلية تنظيم الضغط الشرياني

وتكمن أهمية التنظيم العصبي الكيميائي للضغط الشرياني في تدخله السريع للوقاية من الارتفاع أو الهبوط المفاجئ في قيم الضغط الشرياني.

3- العوامل الخلطية:

وتقسم العوامل الخلطية إلى:

أ- العوامل الخلطية الرافعة للضغط الشرياني:

1- آلية الرينين انجيوتنسين Renin – Angiotensin: انخفاض الضغط الشرياني الناجم عن النزف الدموي أو الإسهالات الحادة يؤدي إلى تحرر الرينين من خلايا كائنة في جدر الشرين الوارد عند اتصاله بالكلية. يفعل الرينين مولد الأنجيوتنسين (بروتين يشكله الكبد يكون في حالة غير فعالة) ويحوله إلى انجيوتنسين (1) الذي يتحول تحت تأثير الأنزيم المحول في أوعية الرئة إلى انجيوتنسين (2)، وهو الشكل الفعال الذي يعمل على:

أ- تضيق الأوعية الدموية.

ب- تنشيط إفراز الألدوستيرون من قشرة الكظر والعمل على الاحتفاظ بشاردة الصوديوم.

ج- تنشيط مركز العطش.

د- تنشيط تحرير الهرمون المضاد للإبالة من الفص الخلفي للغدة النخامية والعمل على إعادة امتصاص الماء من قبل الكلى.

وكل مما سبق يؤدي إلى احتباس الماء وازدياد حجم السوائل خارج الخلوية، مما يؤدي إلى ارتفاع مديد في الضغط الشرياني الأعظمي.

2- الأدرينالين المفرز من لب الكظر: يعمل مقبضاً وعائياً ومسرعاً للقلب مما يزيد من نتاج القلب ويرفع الضغط الشرياني الأعظمي.

3- الهرمونات الجنسية: تحبس الماء والأملاح مما يسبب في رفع الضغط الشرياني الأعظمي.

4- هرمون التيروكسين: مسرع لضربات القلب ورافع للضغط الشرياني الأعظمي.

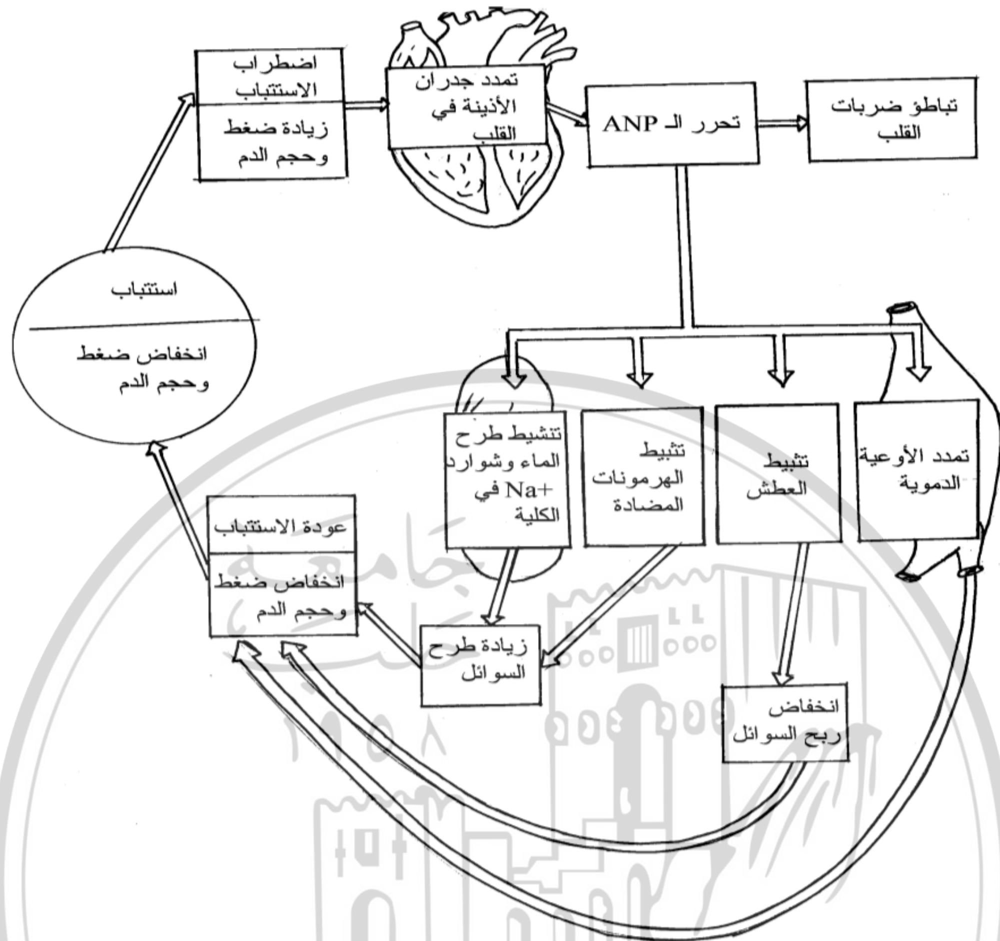
ب-العوامل الخلطية الخافضة للضغط الشرياني:

1- الهستامين Histamine : تفرزه الخلايا البدينة ويعتبر موسع وعائي ومخفض للضغط الشرياني.

2- الببتيد الصودي البولي الأذيني Atrial Natriuretic Peptide: الذي تحرره خلايا موجودة في الحاجز بين الاذينتين نتيجة تأثير زيادة حجم الدم الواردة إلى القلب. وظيفة الببتيد الصودي البولي الأذيني توسيع الأوعية الدموية المحيطية وتخفيض الإحساس بالعطش وتثبيط إفراز الهرمونات التي تقوم بحفظ الماء وشوارد الصوديوم مثل الألدوستيرون والهرمون المضاد للإبالة، الأمر الذي يؤدي إلى طرح السوائل الزائدة والحد من ارتفاع الضغط الشرياني الأعظمي وعودته إلى الحد السوي، (الشكل رقم 20).

4- الدوران الشعري Capillary circulation:

يسير الدم ببطء داخل الشعيرات الدموية، حيث لا تتجاوز سرعته 0.07سم/ثا، الأمر الذي يحقق الهدف من الدوران، وهو التبادل الغازي والغذائي لأن جدران الشعيرات الدموية ذات نفوذية عالية.



الشكل (20): مخطط يوضح دور الهرمون الببتيد الصودي البولي الأذيني في تخفيض الضغط الشرياني

يبلغ حجم الدم الجائل في الدوران الشعري في أثناء الراحة حوالي 5% من الحجم الكلي للدم، ويزداد هذا الحجم في حالات النشاط. أما النتاج الشعري الكلي فيعادل نتاج القلب وهو يختلف بين نسيج وآخر.

تنشأ الشعيرات الدموية من فروع الشرينات، وتتألف جدر الشعيرات الدموية من طبقة واحدة من الخلايا البطانية محاط بدايتها بمصرة عضلية شعرية، وتنتهي نهايتها في وريد دون مصرة عضلية، وتقسم الشعيرات الدموية إلى ثلاثة أنماط تبعاً للبنية والوظيفة:

أ- شعيرات مستمرة: توجد في العضلات الهيكلية والدورة الدموية الرئوية، وبسبب نفوذيتها الكبيرة فإن الجزيئات الصغيرة والغازات المنحلة بالماء تتبادل بسرعة بين المصورة الدموية وبين السائل الخلالي.

ب–شعيرات مثقبة: توجد في الكبيبات الكلوية والأمعاء الدقيقة والضفائر المشيمية، وظيفتها الرئيسية السماح بتبادل كميات كبيرة من الماء.

ج– شعيرات غير مستمرة: توجد في الكبد والطحال ونقي العظم وتمتلك فجوات كبيرة بين الخلايا تسمح للجزيئات الكبيرة كالبروتينات وكريات الدم بالدخول والخروج من وإلى الدورة الدموية.

5– التعادل مع السائل الخلالي:

يتشكل السائل الخلالي من المصورة الدموية عبر الثقوب الشعرية عن طريق ثلاثة آليات متكاملة: الترشيح Filtration وإعادة الامتصاص، الانتثار Diffusion والاحتساء.

أ– الترشيح وإعادة الامتصاص: تتحكم هذه الآلية بتبادل السوائل والمواد المنحلة نتيجة لتباين الضغوط التي تدفع السائل للخروج من المصورة إلى السوائل الخلاليه (الضغط الدموي وضغط السائل الخلالي في الأنسجة (الضغط السلبي)، والضغط الغرواني لبروتينات السائل الخلالي)، ومحصلة الضغوط التي تدفع السائل للدخول إلى المصورة من السوائل الخلاليه (الضغط الغرواني لبروتينات المصورة) على جانبي الوعاء الشعري.

ضغط الترشيح = محصلة القوى التي تدفع السائل للخروج من المصورة – محصلة القوى التي تدفع السائل للدخول إلى المصورة من السوائل الخلاليه.

1– الضغط الدموي داخل الأوعية قرب النهاية الشريانية 35 ملم/ز، بينما يبلغ الضغط الدموي قرب النهاية الوريدية 10ملم/ز.

2– متوسط ضغط السائل الخلالي في الأنسجة 3 ملم/ز، وهذا يعود إلى الدور الكبير الذي يلعبه الجهاز اللمفاوي بسحب السوائل من الأنسجة وضخها إلى الدوران.

3– الضغط الحلولي الغرواني للمصورة: هو الضغط الناجم عن بروتينات المصورة التي لا تنتشر بسهولة عبر الغشاء الخلوي. متوسط الضغط الغرواني للمصورة 28ملم/ز، بينما متوسط الضغط الغرواني في السائل الخلالي 8 ملم/ز.

فعند النهاية الشريانية فإن القوى التي تميل لتحريك السائل للخروج من المصورة هي:

الضغط الدموي 35 + الضغط السلبي للسائل الخلالي 3+ الضغط الحلولي الغرواني للسائل الخلالي 8 فيكون المجموع 46 ملم/ز. ويعاكسها الضغط الحلولي الغرواني للمصورة 28 ملم/ز. الفرق بين القوتين 18 ملم/ز، وهي القوة الدافعة للسوائل من المصورة إلى السوائل الخلاليه.

وكلما كان ضغط الامتلاء عالياً زادت كمية السائل الخلالي.

بينما تكون القوى عند النهاية الوريدية التي تعمل على تحريك السائل للدخول إلى المصورة هي: الضغط الغرواني للمصورة 28 ويعاكسها مجموع كل من الضغط الدموي 10+ الضغط السلبي للسائل الخلالي3+الضغط الغرواني للسائل الخلالي 8 ملم/ز، فالمحصلة بين القوتين 7ملم/ز، وهي قوى عودة الامتصاص. وبما أن هذه القوى ضعيفة لا تقوى على إعادة جميع المواد المرتشحة إلى الدم، الأمر الذي يفسر دور الجهاز اللمفاوي المساعد بإعادة الكميات القليلة من البروتينات والسوائل المتسربة إلى السائل الخلالي.

وطريقة الترشيح واعادة الامتصاص بطيئة وليست مهمة لتزويد الخلايا بالمواد الغذائية.

ب- الانتشار: هي الطريقة الأسرع والفعالة حيث تنتشر المواد المنحلة من الوسط العالي التركيز إلى الوسط الأقل تركيزاً عبر جدار الوعاء الدموي. أما الغازات والمواد ذات الانحلال الجيد في الدسم فإنها تمر عبر جدار الشعيرة الدموية بسبب صغر حجمها والنفوذية الكبيرة لجدار الشعيرة الدموية، في حين أن المواد الأقل انحلالا في الدسم تمر عبر مسام في جدار الوعاء الدموي حسب فرق التركيز وتبعاً لشحنتها وحجمها.

ج-الاحتساء: هي عملية فعالة وبطيئة، تعتمد على وجود حويصلات في الخلايا البطانية تسمح بمرور الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات.

6- الجهاز اللمفاوي: lymphatic system:

يشمل الجهاز اللمفاوي النسج اللمفاوية والأوعية اللمفاوية. تتكون النسج اللمفاوية من تجمع الخلايا اللمفاوية المحصورة في تجاويف موجودة بين ألياف النسج الضامة الشبكية. وقد تتوزع النسج اللمفاوية داخل بعض الأعضاء كما هي الحال في الطبقة تحت

المخاطية للأمعاء، أو تندمج في نسج لمفاوية تحيط بها كبسولة لتكون أعضاء خاصة مثل العقد اللمفاوية واللوزتين والطحال Spleen والغدة التيموسية Thymus.

اللمف سائل شفاف لزج قلوي التفاعل، يحتوي على أملاح معدنية والعديد من الأنزيمات (الليباز، الأميلاز، البروتياز)، ومولد الليفين وجميع عوامل التخثر، ويتميز اللمف بوجود كثيف للخلايا البيض اللمفاوية التي يعود مصدرها إلى العقد والنسيج اللمفاوي.

يتشكل اللمف من ارتشاح عناصره عبر جدران الشعيرات الدموية إلى السوائل بين الخلوية ويصبح على تماس مباشر مع الخلايا التي تأخذ منه أغذيتها وتطرح فيه فضلاتها.

تبدأ الأوعية اللمفاوية بشعيرات لمفية تقوم بجمع اللمف من السائل الخلالي للنسج وتنقله إلى قنيات صغيرة تجتمع بعضها مع بعض لتكون قنوات كبيرة تصب في الدوران الجهازي. ولكن وبفضل الدسامات التي تشكلها الحواف الحرة للخلايا البطانية تصبح حركة اللمف بالاتجاه المعاكس صعبة. وهكذا يعد الجهاز اللمفي جهازاً إضافياً يكمل وظيفة الجهاز الوريدي.

جميع أنسجة الجسم عدا الطبقة الخارجية من الجلد والجهاز العصبي والعظام يمتد فيها عدد كبير من الأوعية اللمفية. توجد العقد اللمفاوية على مسار الجذوع الكبيرة التي تتوضع في أماكن عديدة كالعنق وتحت الإبط والمغبن والبطن. ويتجمع اللمف من جميع أنحاء الجسم في قناتين، (الشكل رقم21):

- القناة اللمفية الصدرية Thoracic duct: وعاء طويل (30-40 سم)، يبدأ في التجويف البطني بانتفاخ يسمى الخزان اللمفي، ثم يمر إلى التجويف الصدري عبر الفتحة الأبهرية للحجاب الحاجز، ومن التجويف الصدري إلى منطقة الرقبة على اليسار ليصب في الزاوية الوريدية اليسرى التي يشكلها الوريد تحت الترقوي الأيسر والوريد الوداجي الباطن الأيسر. تتلقى القناة الصدرية اللمف القادم من الأطراف السفلية والحوض والجانب الأيسر للرأس والعنق والطرف العلوي الأيسر.

• القناة اللمفية اليمنى Right Lymphatic duct: وعاء قصير طوله (10-12 سم) يتوضع في منطقة العنق على اليمين، ويصب في الزاوية الوريدية اليمنى التي يشكلها اتحاد الوريد تحت الترقوي الأيمن والوريد الوداجي الباطن الأيمن. تتلقى القناة اللمفية اللمف القادم من النصف الأيمن للصدر، والطرف العلوي الأيمن، والنصف الأيمن للرأس والعنق.



الشكل رقم (21) الأوعية اللمفية الصدرية والبطنية

ويقوم اللمف بالعديد من الوظائف، منها:

1- إعادة البروتينات التي تسربت إلى السائل الخلالي في سوية الكبد والأمعاء إلى الدم.

2- تركيز البول في لب الكلية.

3- نقل المواد ذات الجزيئات الكبيرة مثل الهيستامين والكولسترول إلى الدم.

4- التقاط الغبار والفيروسات وابتلاعها من قبل البلاعم النسيجية في العقد اللمفاوية.

5- إعادة العناصر الغذائية الممتصة في سوية جهاز الهضم وخاصة الدسم إلى الدم.


جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل الثالث

فيزيولوجيا التنفس

Respiration Physiology

التنفس هو جملة الآليات التي تسمح بتبادل الغازات التنفسية مع الوسط الخارجي، بحيث تؤمن تزويد الجسم بالأكسجين (O_2) الضروري لمختلف الفعاليات الاستقلابية وطرح ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) الناتج عن الاستقلاب الهدمي.

تتم الوظيفة التنفسية بصورة عامة بوساطة أعضاء محددة تتميز بخصائص تشريحية ونسيجية تمكنها من القيام بالمبادلات الغازية. فمن الناحية النظرية يمكن القول إن جميع بنى الجسم حيث توجد اللحافات أو النسج المخاطية الرقيقة والرطبة والغنية بالأوعية الدموية تستطيع أن تسهل هذه المبادلات. فسطح الجسم عند الحيوانات الصغيرة والتي لها سطح كبير بالنسبة لحجمها أو لديها معدلات استقلاب بطيئة تمتلك خصائص الغشاء التنفسي وتقوم بحل مشكلة التبادل الغازي وكلما كان الحيوان أكبر ولديه غطاء واق من الماء فإن الوسائل الخاصة بالتنفس مثل الغلاصم والرئتين تتطور وتزيد من مقدرة السطح على تبادل الغازات.

1- البنية التشريحية لجهاز التنفس عند الإنسان:

يتكون جهاز التنفس عند الإنسان من الرئتين Lungs والطرق التنفسية المتصلة بعضها مع البعض والتي تضم كلاً من الأنف Nose والبلعوم Pharynx والحنجرة Larynx والرغامى Trachea والقصيبات Bronchi والأسناخ الرئوية Alveoli، (الشكل رقم 22). إضافة إلى ذلك ينضم إلى جهاز التنفس كلٌّ من العضلات التنفسية (عضلة الحجاب الحاجزDiaphragm والعضلات الوربية الخارجية External intercostal muscles) التي تعمل على تغير حجم التجويف الصدري، والأعصاب الذاتية والمراكز العصبية الموجودة في البصلة السيسائية Medulla 0blongataوالحدبة الحلقية Pons التي تعمل على تنظيم التهوية الرئوية.

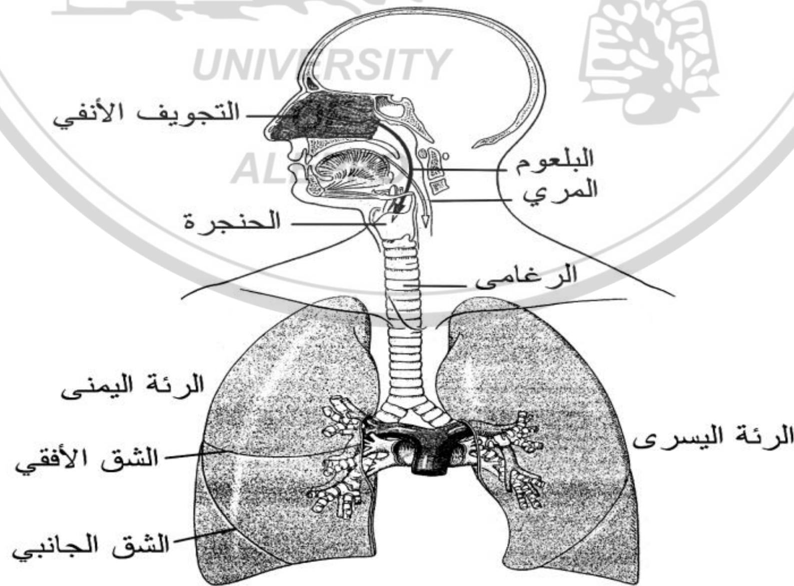
أ- **الطرق التنفسية** Respiratory passages :

1- الأنف Nose: حفرة مزدوجة تقع في مقدمة الوجه تحاط بالعظام الخاصة بالأنف وتبطن بغشاء وعائي مخاطي، ويساهم الأنف في تسخين وترطيب الهواء المستنشق بوساطة الأوعية الشعرية وتخليصه من الجزئيات الغبارية بوساطة الأشعار والمخاط.

2- البلعوم Pharynx: وهو الممر المشترك للهواء والطعام، فتحته المحروسة بلسان المزمار دائماً مفتوحة لتمرير الهواء إلا في حالة بلع الطعام. ففي أثناء البلع تثبط الحركات التنفسية انعكاسيا فيرتفع الحنك الرخو Soft Palate مغلقاً المناخير الخلفية مانعاً مرور الطعام عبر الطرق التنفسية.

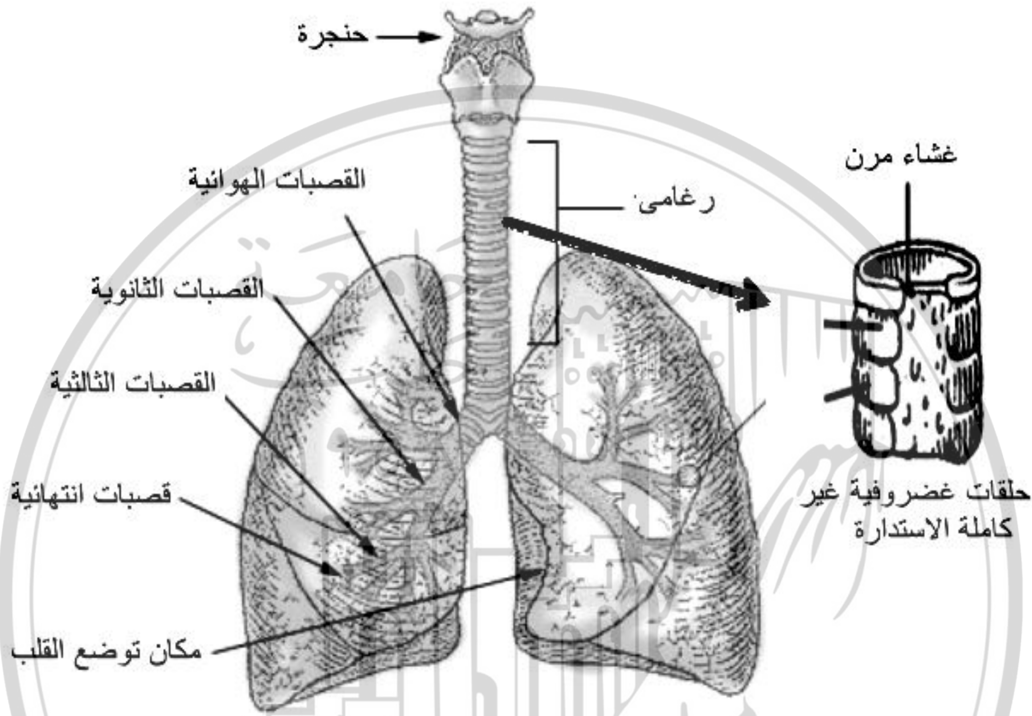
3- الحنجرة Larynx: تقع في منطقة العنق ويتكون هيكلها من عدد من الغضاريف أكبرها الغضروف الدرقي، وأما الغضاريف الصغيرة فهي الغضروف الحلقي والغضروفان الطهرجهاليان. تتصل الحنجرة من الأعلى بالبلعوم الأنفي عن طريق فوهة تغلق في أثناء البلع بقطعة غضروفية تدعى لسان المزمار.

تتصل الحنجرة في طرفها الخلفي بالرغامى Trachea. تكون الحنجرة إضافة إلى كونها عضو التصويت دور صمام ينظم كمية الهواء الداخلة والخارجة في أثناء الشهيق والزفير.



الشكل رقم (22): البنية التشريحية لجهاز التنفس عند الإنسان

4- الرغامى Trachea **و**القصبات Bronchi**:** الرغامى عبارة عن أنبوبة طولها حوالي (12) سم وقطرها (2.5) سم، ولها جدار ليفي مرن يحيط بسلسلة من القطع الغضروفية الزجاجية غير كاملة الاستدارة، يتراوح عددها (16-20) قطعة معقوفة لها شكل حرف u. تتصل هذه القطع ببعضها عبر أربطة ليفية مرنة، (الشكل رقم 23).

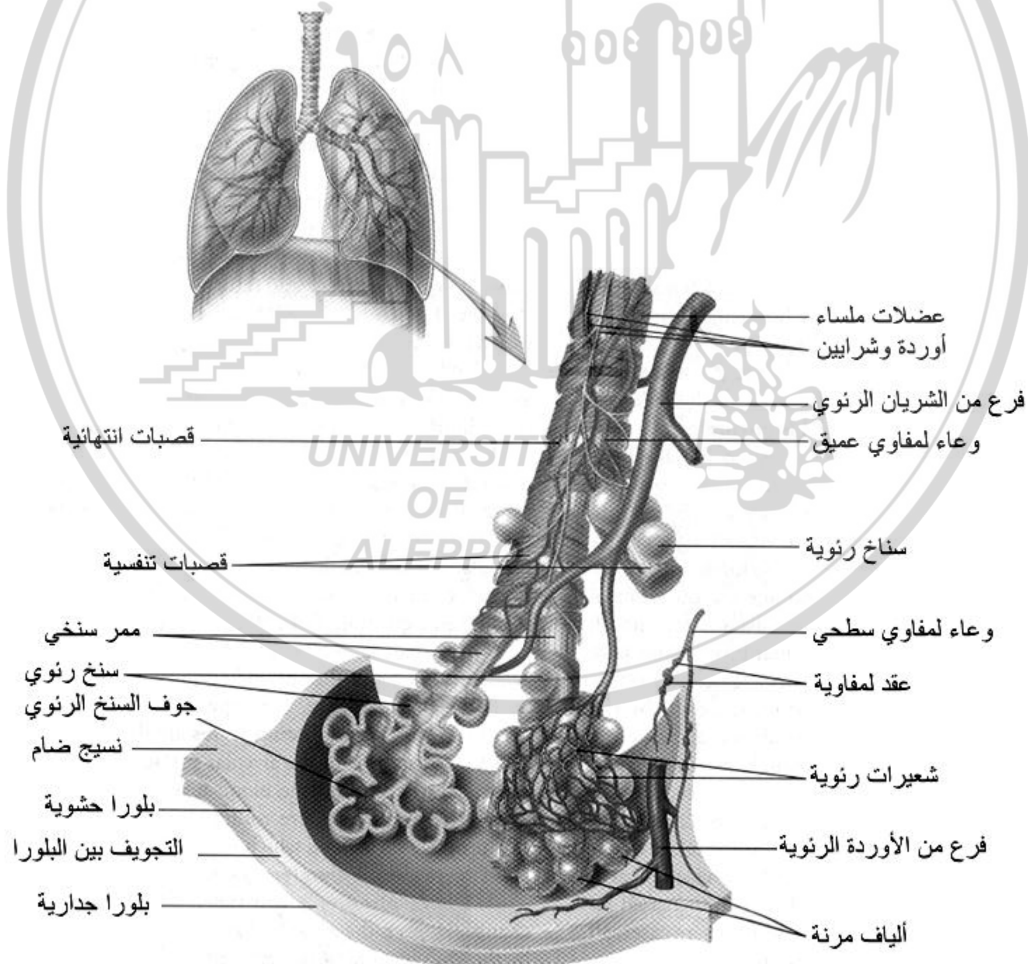


الشكل رقم (23): بنية الرغامى والقصبات وتفرعاتها

وظيفة الأربطة الليفية المرنة المحافظة على بقاء تجويف الرغامى مفتوحاً وحمايته من خطر الانغلاق عند دوران الرأس من جهة، ومساعدة الجزيئات الطعامية بالمرور عبر المريء من جهة أخرى. وتبطن الرغامى بغشاء مخاطي غني بالخلايا الكأسية المفرزة للمخاط. يعمل المخاط على ترطيب الهواء الداخل وتنقيته.

تبدأ الرغامى في مستوى الفقرة العنقية السادسة، وتنتهي داخل الصدر عند مستوى الفقرة الصدرية الرابعة والخامسة. تتفرع الرغامى إلى قصبتين هوائيتين Bronchi Primary يمنى ويسرى، تدخل كل منها إلى الرئة الموافقة. القصبة اليسرى طولها 5 سم، تدخل سرة الرئة متفرعة إلى قصبتين ثانويتين Secondary Bronchi، في حين تكون القصبة اليمنى أقصر وأوسع من القصبة اليسرى وتتفرع عند نقطة دخولها إلى الرئة إلى

ثلاث قصبات ثانوية. تتميز جدران الرغامى والقصبات الثانوية بأنها غنية بالغضاريف وفقيرة بالعضلات الملساء، الأمر الذي يعطيها الصلابة والبقاء بشكل مفتوح دائماً. هذا وتتابع القصبات الثانوية تفرعها داخل كل فص رئوي إلى عدد من القصيبات تعرف بالقصيبات الثالثية Tertiary Bronchi أو القطعية، التي تتميز جدرانها بأنها فقيرة بالغضاريف وغنية بالعضلات الملساء التي تتوسع وتتضيق بتأثير الجهاز العصبي الإعاشي. هذا وتتفرع كل قصيبة ثالثيه إلى قصيبات أدق تدعى بالقصيبات الانتهائية Terminal Bronchioles التي تتمادى بالقصيبات التنفسية Bronchioles Respiratory. تتلقى القصيبات التنفسية من (2-12) قناة سنخيهDuct Alveolar ، يتمادى كل منها بجيب سنخي ينتهي باتساع مغلق يعرف بالسنخ الرئوي Alveoli، (الشكل رقم 24).

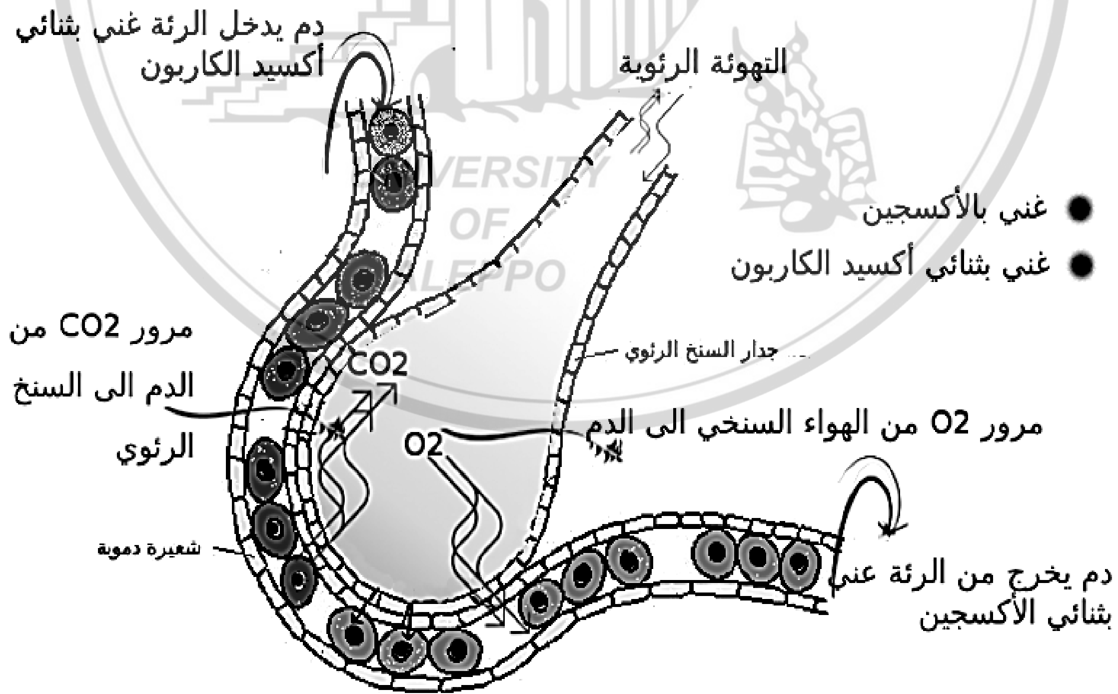


الشكل (24): يوضح بنية القصبة التنفسية والتمادي بالسنخ الرئوي

يطلق على كل من الرغامى والقصبات والقصيبات القطعية المنطقة التوصيلية في الطرق التنفسية داخل الصدر، التي وظيفتها ايصال الغازات إلى الأسناخ الرئوية، في حين يطلق على القصيبات التنفسية المنطقة التوصيلية والتنفسية التي يقع على عاتقها إيصال الغازات التنفسية والمساهمة بالمبادلات الغازية.

ب- الرئتين Lungs:

يتكون نسيج الرئة من الأسناخ الرئوية التي تنتظم على هيئة مجموعات، يعرف كل منها بوحدة الرئة، وتتكون جدر الأسناخ من طبقة واحدة من الخلايا الظهارية وشبكة من الألياف المرنة التي تحاط بشبكة من الشعيرات الدموية تتم في مستواها عملية التبادل الغازي بين دم الشعيرات الرئوية وهواء الأسناخ الرئوية. ويقدر عدد الأسناخ الرئوية عند الإنسان بحدود (350) مليون سنخ والمساحة السطحية لها تتراوح بين (50-100) متر مربع. تعد الأسناخ سطوح تبادل غازي بسبب سطحها الكبير ورقة جدرانها التي تبلغ سماكتها (1) ميكرون، كما تحمل بعض الألياف المرنة خلايا ظهارية مسطحة يخترقها وعاء دموي شعري بحيث يسمح بمرور الكريات الحمراء الواحدة تلو الأخرى، (الشكل رقم 25).



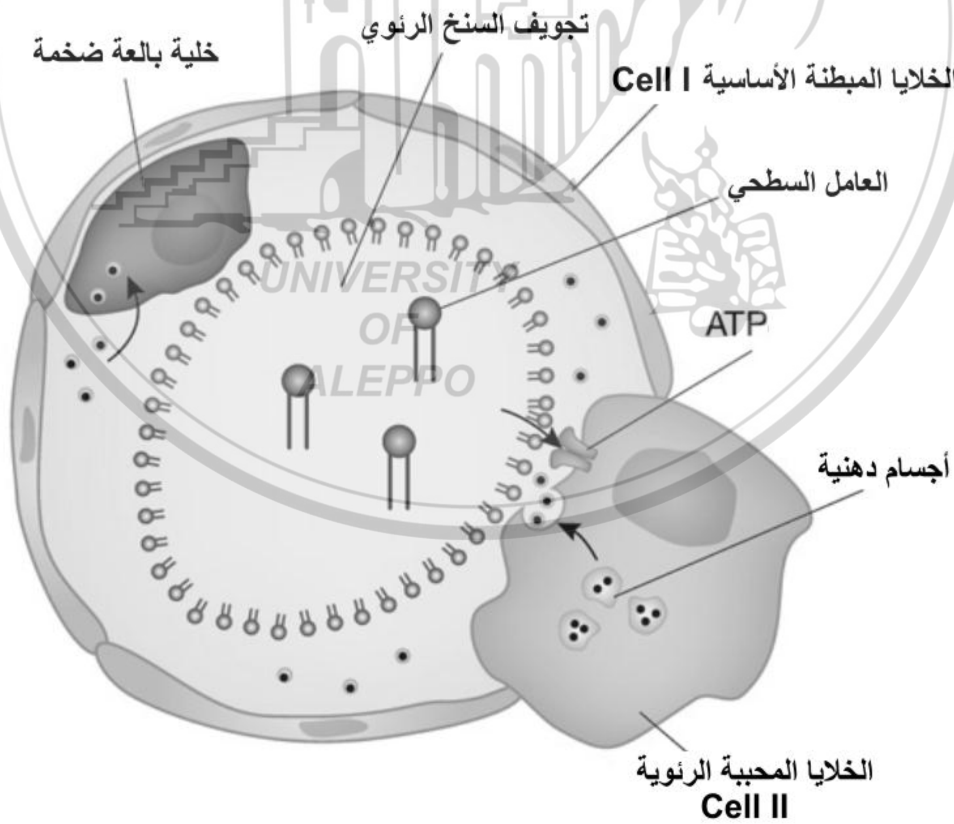
الشكل رقم (25): بنية السنخ الرئوي كسطح تبادل غازي

وتبطن الأسناخ الرئوية بنوعين من الخلايا الظهارية:

- الخلايا المبطنة الأساسية Cell I.
- الخلايا المحببة الرئوية Cell II والتي تفرز مادة ليبوبروتينية تتشكل من أحماض دهنية تدعى العامل السطحي أو السيرف اكتانت Surfactant، (الشكل رقم 26).

يقوم العامل السطحي بدور وقائي يقي من انفراغ الأسناخ الصغيرة في الأسناخ الكبيرة من جهة، ويقي من ارتشاح المصورة من الشعيرات الدموية الموجودة بجوار جدران الأسناخ الرئوية، الأمر الذي يساعد على إبقاء الرئتين جافتين بعد الولادة.

إضافة إلى ذلك يحتوي جدار السنخ الرئوي على مستقبلات تمدد Stretch Receptors وخلايا بلعميه (الخلايا الغبارية) وخلايا بدينة (Mast Cells) مفرزة للهيبارين.



الشكل رقم (26): يبن تشكل العامل السطحي ومكان توضعه في جوف السنخ الرئوي

ويحيط بكل رئة غشاء رقيق مزدوج يعرف بالبلورا أو غشاء الجنب pleura. الغشاء الخارجي يبطن تجويف الصدر ويعرف بالبلورا الجدارية، بينما الغشاء الداخلي يغلف الرئتين ويلتصق بهما التصاقا قوياً ويعرف بالبلورا الحشوية. ويحصر غشاءا البلورا بينهما جوفاً يحتوي على سائل مصلي وظيفته تسهيل عملية تمدد وتقلص الرئتين في أثناء التنفس السوي، (الشكل رقم 24).

2- التهوية الرئوية Ventilation of the lung:

تتحقق الدورة التنفسية الممثلة بالشهيق والزفير بالحركة الهابطة والصاعدة للحجاب الحاجز من جهة، وبرفع الأضلاع وخفضها من جهة أخرى، (الشكل رقم 27).

أ-الشهيق Inspiration: الشهيق حركة فعالة Active في التنفس السوي، تتقلص خلاله عضلة الحجاب الحاجز مما يسبب في هبوط الحجاب الحاجز للأسفل مما يزيد في القطر العمودي للقفص الصدري من جهة، وتتقلص العضلات الوربية الخارجية مما يسبب في رفع حواف الأضلاع إلى الأعلى والخارج وهذا يزيد في القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري Chest Cavity من جهة أخرى، الأمر الذي يوسع الصدر ويخفض الضغط فيه إلى أقل من مستوى الضغط الجوي فيدخل الهواء إلى الأسناخ الرئوية.

ب-الزفير Expiration: الزفير عملية منفعلة ويشمل عودة جدار الصدر والرئتين إلى وضعية التوازن، الأمر الذي يرفع الضغط في التجويف الصدري إلى مستوى أعلى من الضغط الجوي فيخرج الهواء من الأسناخ الرئوية إلى الوسط الخارجي. ويعود السبب في كون عملية الزفير منفعلة، إلى أن العضلات الشهيقية تتغلب خلال تقلصها على مجموعة من القوى:

1- ثقل القفص الصدري المرتفع إلى الأعلى.

2 - المقاومة المرنة للغضاريف العضلية.

3- مقاومة جدر الأحشاء التي تم دفعها نحو الأسفل بتأثير تقلص عضلة الحجاب الحاجز.

لذلك بمجرد استرخاء هذه العضلات تعمل هذه القوى على إعادة حجم القفص الصدري إلى ما كان عليه قبل بدء الشهيق.

أما في حال التنفس القسري Heavy Breathing فلا تكفي عضلة الحجاب الحاجز والعضلات الوربية الخارجية لتامين دخول كمية كافية من الهواء إلى الرئتين، لذلك تساهم عضلات أخرى بتوسيع القفص الصدري فيزداد القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري بشكل أكبر فتتمدد الرئتان بدرجة أكبر، ويشارك في ذلك:

1- العضلتان القصيتان الترقويتان الخشائيتان Sternocleidomastoid Muscles ترفعان القص Sternum نحو الأعلى.

2- العضلتان المسننتان الأماميتان Serrates Anterior Muscles ترفعان العديد من الأضلاع.

3- العضلتان الأخمعيتان Scalene Muscles ترفعان الضلعين الأول والثاني.

أما في الزفير القسري حيث لا تكفي القوى المرنة كقوة فاعلة لإحداث الزفير القسري فتتقلص العضلات الزفيرية التالية:

1- العضلتان البطنيتان المستقيمتان Rectus Muscles تسبب في سحب الأضلاع السفلية للأسفل.

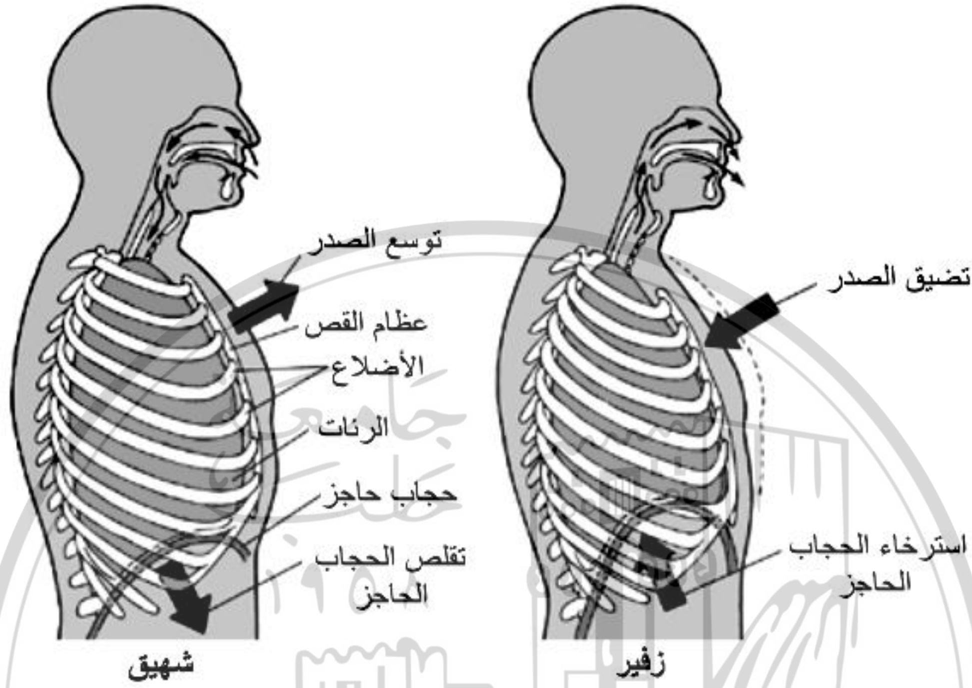
2- العضلات الوربية الداخلية Internal Intercostal Muscles تخفض حواف الأضلاع إلى الأسفل. وبذلك تساهم هذه العضلات مجتمعة بزيادة تضيق القفص الصدري وحدوث الزفير القسري.

3- الحجوم والسعات الرئوية:

- الحجم: هو كمية الهواء الموجودة في أنحاء الرئتين.
- السعة: هي مجموعة حجمين أو أكثر.

يمكن قياس حجم وشدة مبادلات الغازات التنفسية عند الإنسان بواسطة مقياس التنفس Spirometer الذي يمكننا من قياس الحجوم والسعات الرئوية. إن قياس حجوم والسعات الرئوية له أهمية في التعبير عن وظائف الرئة وفي

تشخيص الأمراض التنفسية. وتقاس هذه المعايير عادة عند درجة حرارة الجسم وضغط مشبع ببخار الماء، (الشكل رقم 28).



الشكل رقم (27): الشهيق والزفير عند الإنسان

- **الحجوم الرئوية:**

أ- حجم الهواء الجاري(المدي) Tidal Volume (TV): وهو حجم الهواء الذي يستنشقه أو يزفره الإنسان في حالة التنفس الطبيعي و يقدر بـ (500) سم^3 أو 2/1 ليتر

ب- حجم الشهيق الاحتياطي Inspiratory Reserve Volume (IRV): وهو حجم الهواء الذي يستطيع أن يستنشقه الإنسان بشهيق قسري مسبوق بزفير عادي ويقدر بـ (3300) سم^3 أو 3.3 ليتر.

ج- حجم الزفير الاحتياطي Expiratory Reserve Volume (ERV): وهو حجم الهواء الذي يستطيع الإنسان أن يزفره بزفير قسري مسبوق بشهيق عادي ويقدر بـ (1000) سم^3 أو ليتر واحد.

د- حجم الهواء المتبقي Residual Volume (RV): وهو حجم الهواء المتبقي في الرئتين بعد زفير قسري ويقدر بـ (1200) سم^3 أو 1.2 ليتر.

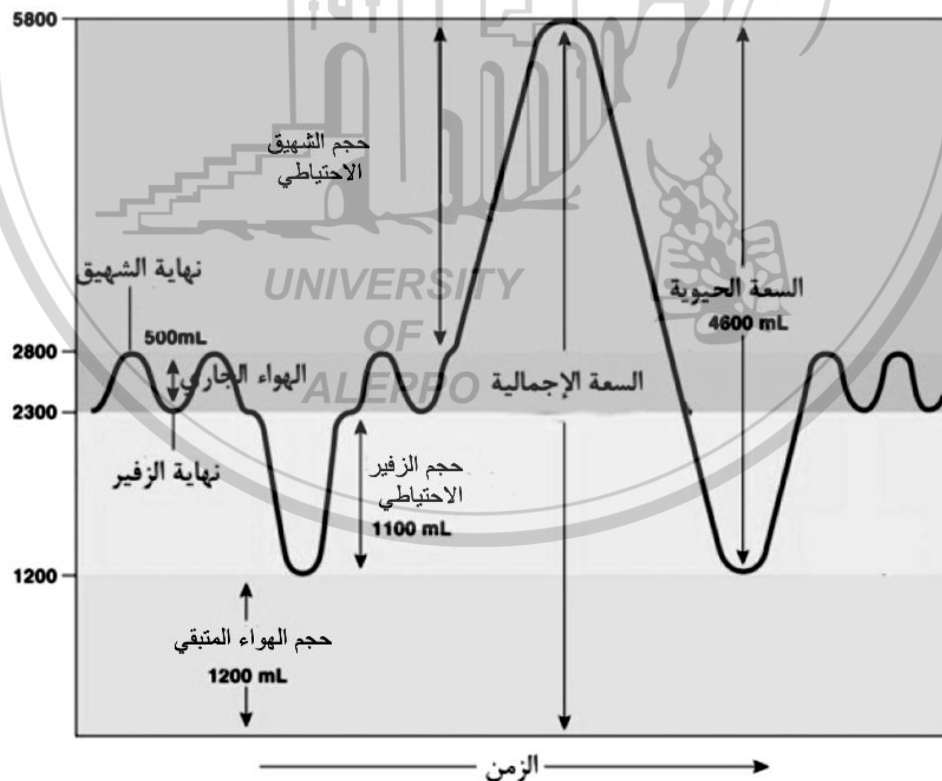
هـ-الحجم التنفسي: وهو عبارة عن كمية الهواء المستنشقة في الدقيقة الواحدة وتقدر في حالة الراحة بـ (6000) سم^3/دقيقة، و تحسب من العلاقة التالية:

الحجم التنفسي = حجم الهواء الجاري × عدد الحركات التنفسية في الدقيقة

$500 \times 12 = 6000$ سم^3

أما في حالات الجهد العضلي فيزداد الحجم المدي ويزداد تواتر التنفس، مما يؤدي إلى زيادة الحجم التنفسي إلى (42 ليتر /د).

كما ويطلق على الهواء الموجود في الطرق التنفسية ابتداءً من تجويف الأنف وانتهاءً بالقصيبات التنفسية بالحيز الميت التشريح Anatomic Dead Space ويقدر حجمه بـ (150) سم^3. ولكن أحياناً تكون بعض الأسناخ الرئوية غير فعالة بسبب انعدام التروية مثلاً فيطلق على الهواء في هذه الأسناخ بالحيز الميت السنخي الذي يضاف إلى الحيز الميت التشريح وعندها يطلق على المجموع اسم الحيز الميت الفيزيولوجيPhysiologic Dead Space.



الشكل رقم (28): تمثيل تخطيطي للحجوم الرئوية

- **السعات الرئوية:**

أ- السعة الشهيقية Inspiratory Capacity (IC): هي أكبر كمية من الهواء يستطيع الإنسان استنشاقها بشهيق عادي بعد زفير عادي وتساوي مجموع الشهيق الاحتياطي وحجم الهواء الجاري، وتقدر بـ (3800) سم^3 أو 3.8 ليتر.

ب- السعة الوظيفية المتبقية Functional Residual Capacity (FRC): وهي كمية الهواء المتبقية في الرئة بعد زفير قسري، وتساوي مجموع الحجم المتبقي وحجم الزفير الاحتياطي، وتقدر بـ (2200) سم^3 أو 2.2 ليتر.

ج- السعة الحيوية للرئتين Vital Capacity (VC): وهي أكبر كمية يستطيع الإنسان زفرها بزفير قسري بعد شهيق قسري، وتساوي مجموع الهواء الجاري وحجم الشهيق الاحتياطي وحجم الزفير الاحتياطي، وتقدر عند الرجل بـ (4800) سم^3 أو 4.8 ليتر.

د- السعة الكلية للرئة Total Long Capacity (TLC): وهي كمية الهواء الموجودة في الرئة عند نهاية شهيق قسري، وتساوي مجموع السعة الحيوية والحجم المتبقي، وتقدر بـ (6000) سم^3 أو 6 ليتر.

هـ- التهوية السنخية: وهي معدل تجدد الهواء في الطرق التنفسية التي تساهم في المبادلات الغازية (المنطقة المتوسطة والمنطقة التنفسية). ويحسب معدل التهوية السنخية بضرب تواتر التنفس بالحجم المدي منقوص منه حجم الحيز الميت.

معدل التهوية السنخية =(12× 500)−150=4200 مل/دقيقة.

علماً أن الحجوم والسعات الرئوية السابقة تتأثر بالعمر والطول والجنس والعرق.

4- معدل الحركات التنفسية:

يختلف معدل الحركات التنفسية حسب العمر والحالة الفيزيولوجية فهو يتراوح عند الشخص البالغ وفي أثناء الراحة ما بين (12-15 حركة) في الدقيقة وعند الأطفال حديثي الولادة يصل إلى (40) حركة /دقيقة.

وهكذا فإن الحجم التنفسي يمكن أن يقدم معلومات عن التهوية الرئوية ولكنه لا يمكن عده معياراً محدداً لفعالية التنفس. فلو فرضنا أن حجم التنفس في الدقيقة في فردين يساوي (6000) سم^3/د لكل منهما، لكن الأول يتنفس (20) مرة في الدقيقة ويأخذ في كل مرة (300) سم^3 من الهواء، والثاني يتنفس (10) مرات في الدقيقة ويأخذ في كل مرة (600) سم^3. فإذا أخذنا حجم الحيز الميت التشريحي (150سم^3) بعين الاعتبار لوجدنا أن هواء الشهيق في الفرد الأول بعد طي الحيز الميت (300− 150) = 150 سم^3. أما الفرد الثاني وبعد طي حجم الحيز الميت 600−150 = 450 سم^3. وهكذا بالرغم أن الحجم التنفسي في الدقيقة في كلا الفردين يعادل (6000) سم^3. إلا أن التهوية السنخية لديهما مختلفة تماما فهي تساوي في الفرد الأول 150×20 = 3000 سم^3، وفي الفرد الثاني 450×10 = 4500 سم^3. وهكذا التنفس العميق وبتواتر بطيء نسبياً يكون أكثر فعالية من التنفس السريع السطحي.

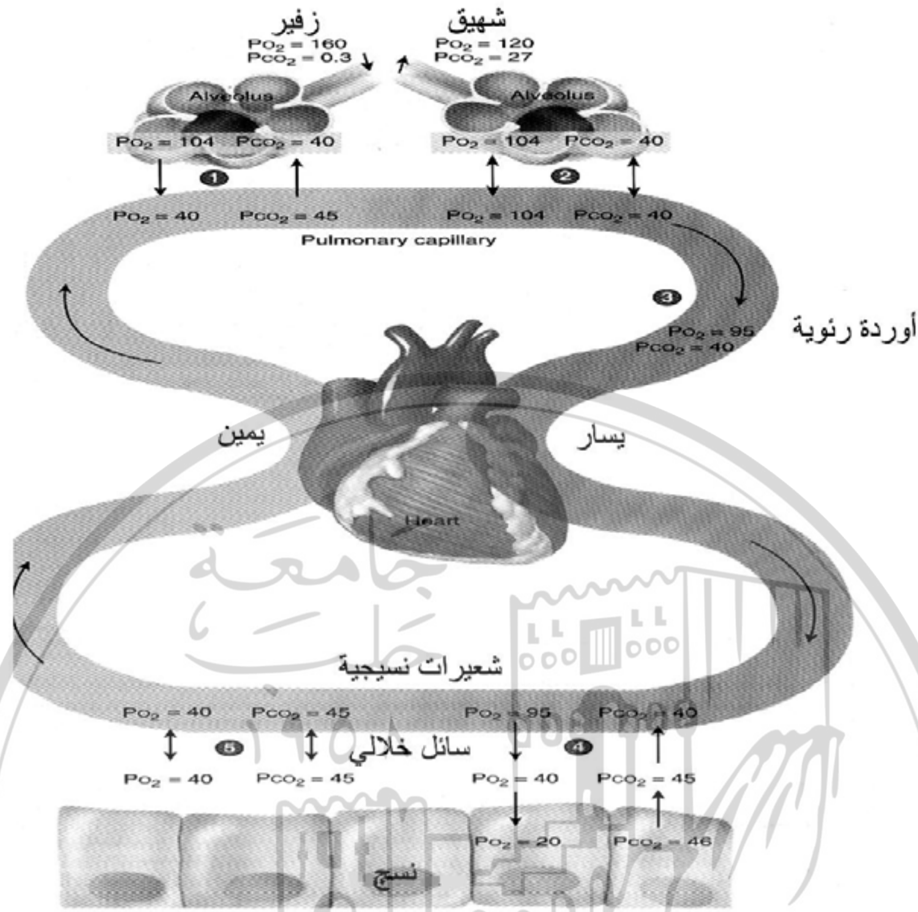
5− التبادل الغازي في الرئتين:

يتم التبادل الغازي بين الأسناخ الرئوية والدم الشرياني الرئوي بطريقة الانتشار، (الشكل رقم 29)، فالغاز يتحرك من المنطقة التي يكون ضغطه الجزئي أعلى إلى المنطقة التي يكون ضغطه الجزئي فيها أقل، وانتقال الأكسجين من الأسناخ الرئوية إلى الشعيرات الدموية الرئوية يعتمد على ثلاثة عوامل رئيسة :

أ− يحدث تبادل الأكسجين فقط في المناطق التي تكون فيها الأسناخ الرئوية والشعيرات الدموية بجانب بعضها البعض.

ب− يعتمد انتقال الأكسجين على الفرق بين الضغط الجزئي للأكسجين في الأسناخ الرئوية والشعيرات الدموية الرئوية.

ج− تتأثر عملية تبادل الأكسجين بالمسافة التي يتوجب على جزيء الأكسجين أن يقطعها بين فراغ الأسناخ والهيموغلوبين الموجود داخل الكرية الحمراء في الشعيرات الدموية الرئوية (الخلية المبطنة للأسناخ الرئوية، النسيج الخلالي المحيط بجدار الأسناخ الرئوية، بطانة الشعيرات الدموية، المصورة، غشاء الكرية الحمراء) وأخيراً التفاعل بين الأكسجين والهيموغلوبين).



الشكل رقم (29): المبادلات الغازية بين الاسناخ الرئوية والدم الشرياني الرئوي

وبما أن كل مرحلة من المراحل المذكورة لها زمن محدد، فإن انتقال الأكسجين يقل إذا ازداد الزمن اللازم للانتقال، كما هو الحال عند الإصابة بمرض التليف Fibrosis الناجم عن زيادة ثخانة جدار السنخ الرئوي.

ويشير الضغط الجزئي لغاز ما إلى ضغط الغاز الذي يبذله في خليط من الغازات، فإذا كان الضغط الجوي يساوي 760 ملم/ز، فان الضغط الجزئي للأكسجين Po_2 يساوي 160 ملم/ز فقط. لو علمنا أن الضغط الجزئي للأكسجين في الأسناخ الرئوية يساوي 104 ملم/ز، وفي الدم الوريدي في الشعيرات الرئوية يساوي 40 ملم/ز، لأدركنا أن الفرق 54 ملم/ز، الأمر الذي يساعد على انتقال الأكسجين من الأسناخ الرئوية إلى الدم الشرياني الرئوي.

ويزداد تشبع الدم بالأكسجين تدريجياً حتى إذا ما وصل الضغط الجزئي للأكسجين في الشعيرات الرئوية إلى 100 ملم/ز يصبح الدم عندئذ مشبعاً 95% بالأكسجين. أما

عند الأنسجة فإن الضغط الجزئي للأكسجين يساوي 20 ملم/ز، بينما يكون الضغط الجزئي للأكسجين في الدم الشرياني 95 ملم/ز، الأمر الذي يؤدي إلى انطلاق الأكسجين إلى الأنسجة والذي يصبح تحت تصرف الخلايا لاستخدامه في تفاعلات الأكسدة الكيميائية.

6- تنظيم التهوية الرئوية:

التنفس الطبيعي تلقائي لاإرادي لا يشعر به الإنسان، ولكن يمكن أن يصبح إراديا ولفترة محدودة، ويتجلى ذلك في مقدرة الشخص على إبطاء تنفسه أو إيقاف تنفسه أو تسريعه من خلال تدخل القشرة المخية.

وبما أن الظروف الحياتية غير ثابتة ويمكن أن تزداد الحاجة للأكسجين مصحوب بزيادة انتاج ثاني اوكسيد الكربون حتى (20) ضعفاً في أثناء القيام بالأعمال المجهدة، الأمر الذي يفسر وجود الإمداد العصبي للجهاز التنفسي الذي يعمل على تعديل التهوية الرئوية.

يتم التنظيم الذاتي اللاإرادي للتهوية الرئوية من خلال مراكز عصبية موجودة في جذع الدماغ، يشاركها في عملية التنظيم مستقبلات كيميائية مركزية وأخرى محيطية منتشرة في الأجسام السباتية والأبهرية. إضافة إلى ذلك وجود مستقبلات التمدد في جدار الرئة والصدر يحمي الرئة من خطر التمزق. حيث تقوم هذه المستقبلات بإرسال دفعات عصبية عبر الألياف الحسية للعصب المبهم عندما تتمدد الرئة إلى أقصى حدً لها، إذ تحرضها على وقف الشهيق.

تعرف العصبونات الموجودة في البصلة السيسائية بالمراكز التنفسية وتضم العصبونات الشهيقية الممثلة بالزمرة التنفسية الظهرية والعصبونات الزفيرية الممثلة بالزمرة التنفسية البطنية، في حين تعرف العصبونات الموجودة في الحدبة الحلقية بالعصبونات المنظمة للتنفس، (الشكل رقم 30).

أ- مجموعة العصبونات التنفسية الظهرية Dorsal Respiratory Group: وهي مركز الشهيق، هذه المجموعة تمتد على طول الوجه الظهري للبصلة. تمتلك بعض عصبونات هذه الزمرة عصبونات تلقائية مسببة إثارة الشهيق في التنفس الطبيعي. وبما

أن هذه المجموعة هي مركز الشهيق فأليافها تذهب إلى النخاع الشوكي لتتشابك مع العصبونات المحركة للعضلات التنفسية (عضلة الحجاب الحاجز). علماً بأن هذه المجموعة تصلها دفعات عصبية قادمة من المستقبلات الكيميائية المحيطية عبر الألياف الحسية للعصب المبهم Vague Nerve والعصب البلعومي اللساني Glossopharyngeal Nerve. إثارة مركز الشهيق تؤدي لحدوث شهيق يستمر باستمرار الإثارة ، وإذا استمرت الإثارة لفترة طويلة تؤدي للوفاة.

ب- مجموعة العصبونات التنفسية البطنية Ventral Respiratory Group: وهي مركز للزفير العميق والشهيق العميق، وتتوضع هذه المجموعة في الناحية البطنية في البصلة السيسائية. هذه العصبونات مسؤولة عن التهوية الشديدة وهي غير مستثارة في التنفس الطبيعي.



الشكل رقم (30): العصبونات المنظمة للتنفس

ج- المركز الجسري العلوي أو ما يدعى مركز انتظام التنفس: يرسل هذا المركز دفعاته إلى مركز الشهيق لإطالة فترة الشهيق.

د- المركز الرئوي الناهي Pneumotaxic: يقع أسفل الجسر، يثبط مركز الشهيق ويقلل من نشاطه مما يساعد في تنظيم سرعة التنفس ونمطه، أي يسيطر على المركز التنفسي الموجود في البصلة السيسائية.

بما أن الهدف النهائي للتنفس هو الحفاظ على تراكيز مناسبة من الأكسجين وثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين في الجسم، فان مركز التنفس يستجيب لتغيرات هذه العناصر.

يعد تركيز شوارد الهيدروجين وكل من الضغط الجزئي للأكسجين PO_2 والضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون من أهم المنبهات الكيميائية المسؤولة عن التلاؤم بين التهوية الرئوية والمتطلبات الاستقلابية للإنسان. فزيادة تركيز شوارد الهيدروجين وارتفاع الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون PCO_2 في الدم الشرياني ينبهان المستقبلات الكيميائية المحيطية الموجودة في الأجسام الأبهرية والسباتية. ومن تلك المستقبلات يبدأ منعكس عملية الشهيق وذلك بإرسالها دفعات عصبية تنقلها الألياف الحسية للعصب البلعومي اللساني والعصب المبهم باتجاه المركز التنفسي (القسم الشهيقي) في البصلة السيسائية. إثارة مركز الشهيق تسبب في تشكيل دفعات عصبية، قسم منها يرسل عبر الألياف المحركة للعصب المبهم إلى النخاع الشوكي والعضلات الشهيقية (عضلة الحجاب الحاجز Diaphragm والعضلات الوربية الخارجيةExternal intercostal muscles) محرضاً إياها على التقلص، مما يسبب في توسيع التجويف الصدري وزيادة حجم الأسناخ الرئوية فيدخلها الهواء (عملية الشهيق).

والقسم الآخر من الدفعات العصبية يرسل إلى المركز الرئوي الناهي في الحدبة الحلقية وكأنه يعلمه ببدء الدورة التنفسية. انتفاخ الأسناخ الرئوية يعد منبهاً آلياً ينبه ألياف عصبية منتشرة في جدران الأسناخ الرئوية تدعى مستقبلات التمدد Stretch Receptors، ومن هذه المستقبلات يبدأ منعكس عملية الزفير وذلك بإرسالها دفعات عصبية إلى مركز الزفير في البصلة السيسائية عبر الألياف الحسية للعصب المبهم، ورداً على ذلك يرسل

مركز الزفير دفعات عصبية إلى المركز الرئوي الناهي الذي يقوم بإرسال دفعات عصبية تثبيطيه إلى مركز الشهيق مثبطاً إياه، الأمر الذي ينتج عنه توقف الدفعات العصبية المسببة لتقلص العضلات التنفسية وصغر حجم التجويف الصدري، وخروج الهواء من الأسناخ الرئوية، (الشكل رقم 31). وهكذا يتضح الدور الوظيفي للمركز الناهي الرئوي بإنهاء الطور الشهيقي وكأنه هو الذي يحدد وقتاً معيناً للشهيق في نهايته ينبه مركز الزفير الذي يثبط الحركات الشهيقية.

إن عودة الأسناخ الرئوية إلى حجمها الطبيعي يوقف تنبيه مستقبلات التمدد وعودة تأثير PCO_2 في المركز الشهيقي الذي يعود فيصدر دفعاته العصبية المقلصة لعضلات الشهيق وتبدأ دورة تنفسية جديدة.



الشكل رقم (31): تمثيل تخطيطي لتنظيم التنفس

إضافة إلى ذلك هناك مستقبلات كيميائية مركزية موجودة في جذع الدماغ تمتلك حساسية كيميائية لتغير تركيز شوارد الهيدروجين والضغط الجزئي لـCO_2 في الدم. هذه

المستقبلات تعمل على تغير فعالية المراكز التنفسية عن طريق التأثير المباشر، وذلك بخلاف الأكسجين الذي لا يمتلك أي تأثير في المراكز العصبية في جذع الدماغ.

برغم أن التأثير المباشر لـ CO_2 في تنبيه العصبونات المركزية ضئيل جداً، فهو يتمتع بتأثير لا مباشر قوي جداً. علماً أن هذا التأثير يتم عن طريق تفاعل CO_2 مع الماء وتشكيل حمض الكربون الذي يتفكك بدوره إلى شوارد الهيدروجين والبيكربونات، شوارد الهيدروجين بدورها تعزز تأثير CO_2 في المركز التنفسي.

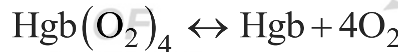
ولكن ما السبب الذي يجعل CO_2 في الدم أقوى تأثيراً في تنبيه المستقبلات الكيميائية المركزية من شوارد الهيدروجين في الدم؟ يعود إلى اختلاف سرعة انتقال كل من CO_2 و H_2 عبر الغشاء الدموي الدماغي، علماً أن CO_2 تعبر الغشاء الخلوي بسهولة عكس شوارد الهيدروجين التي لا تستطيع العبور.

7- آلية نقل الغازات:

إن انتقال الأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون عبر السطوح التنفسية وخلايا النسج الأخرى يعتمد على قانون الانتشار وحركة الدم.

أ- نقل الأكسجين:

ينتقل القسم الأكبر من الأكسجين في الدم على شكل اتحادات كيميائية عكوسه مع الهيموغلوبين (حوالي 97%) بالإضافة إلى قسم ضئيل (3%) يتم نقله بشكل منحل. ويمكن تمثيل اتحاد الأكسجين بالهيموغلوبين بالمعادلة التالية:

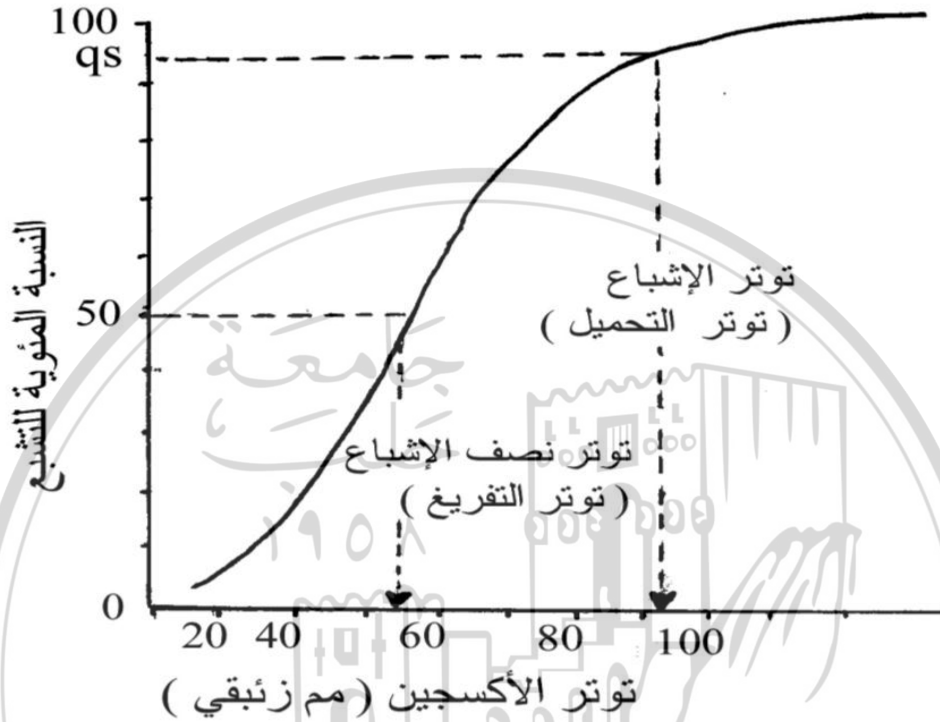


$$\mathrm{Hgb}\left(\mathrm{O_2}\right)_4 \leftrightarrow \mathrm{Hgb} + 4\mathrm{O_2}$$

ويطلق على عملية اتحاد الأكسجين مع الهيموغلوبين مصطلح الأكسجة Oxygenation، ويدعى الهيموغلوبين في هذه الحالة اوكسي هيموغلوبين Oxyhemoglobin. إن كمية الأكسجين في الدم تتعلق بكمية الأكسجين المنحلة، وبكمية الهيموغلوبين في الدم وعلى ألفة الهيموغلوبين للأكسجين.

فلو عرض سائل من الهيموغلوبين في الحالة المرجعة Deoxygenation لضغوط متزايدة من الأكسجين، لوجدنا أن كمية الأكسجين الذي يمتصها الهيموغلوبين بسرعة في البداية، ثم تنخفض نسبة الامتصاص تدريجياً حتى يصبح الهيموغلوبين كامل الإشباع

بالأكسجين. ويمكن تمثيل هذه العلاقة بين الضغط الجزئي للأكسجين ونسبة امتصاصه من قبل الهيموغلوبين بمخطط بياني يعرف باسم منحني انفكاك الأكسجين Oxygen Dissociation Curve، (الشكل رقم 32).



الشكل رقم (32): تمثيل فكرة توتر الإشباع وتوتر نصف الإشباع

يطلق على الضغط الجزئي للأكسجين Po_2 الذي يطابق الإشباع بنسبة 95% اسم توتر التحميل Leading Tension، أما الضغط الجزئي للأكسجين الذي يطابق الإشباع 50% فيسمى توتر التفريغ Unloading Tension، وبهذا الشكل يأخذ منحنى الانفكاك الأكسجيني الشكل الأفقي في المجالات المرتفعة من الضغط الجزئي PO_2. أما الانحناء الشديد للقسم الأوسط من منحني الانفكاك الأكسجيني فيدل على الحالات الملائمة لإعطاء الأكسجين للنسج.

أما العوامل المؤثرة في منحني الانفكاك الأكسجيني:

1- درجة الحرارة:

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى خفض الآلفة بين الهيموغلوبين والأكسجين ويتمثل ذلك بانتقال منحنى الانفكاك الأكسجيني نحو اليمين، الأمر الذي يؤدي إلى تخلي

الهيموغلوبين عن كميات كبيرة من الأكسجين إلى الأنسجة التي تكون بحاجة إليه. إلا أن هذا الانفكاك نتيجة ارتفاع درجة الحرارة يسبب انخفاض نسبة الأكسجين في الجسم، الأمر الذي يدفع بالجسم للرد على ذلك عن طريق زيادة حوادث التهوية وازدياد معدل ضربات القلب ليتمكن الجسم من إعادة منحنى الانفكاك الأكسجيني إلى وضعه الطبيعي. لكن ومن جهة أخرى، وفي درجات الحرارة المنخفضة أكثر من المعتاد، نلاحظ زيادة الألفة بين الهيموغلوبين والأكسجين، ويمثل ذلك بانتقال منحى انفكاك الأكسجين نحو اليسار، الأمر الذي يفسر حالة الاختناق وعدم المقدرة على الحياة في ظروف الحرارة المنخفضة جداً رغم تشبع الدم بالأكسجين، وذلك لأن الدم لا يتخلى عن أية كمية من الأكسجين المرتبط به إلى النسج في مثل هذه الدرجات.

2- درجة PH :

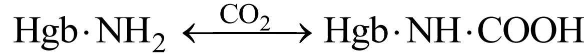
عندما تزداد حموضة الدم أي زيادة شوارد الهيدروجين (H)عن الحد السوي 7.35 إلى القيمة 7.2، ينزاح منحى الانفكاك الأكسجيني نحو اليمين، في حين تسبب زيادة قلوية الدم، أي زيادة شوارد البيكربونات (HCO_3) عن الحد السوي 7.35 حتى 7.6 انزياح منحى الانفكاك الأكسجيني نحو اليسار.

3- تركيز ثاني أكسيد الكربون:

إن ازدياد الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون PCO_2 في الدم نتيجة النشاط الاستقلابي الكبير أو عند الصعود الى المرتفعات يؤدي إلى انتقال منحى الانفكاك الأكسجيني نحو اليمين وبالتالي انخفاض آلفة الهيموغلوبين للأكسجين. ففي هذه الحالة تركيز اوكسي هيموغلوبين سوف ينخفض في الدم، الأمر الذي يدفع بالجسم للرد على ذلك عن طريق زيادة حوادث التهوية التي تساعد على دخول كميات كبيرة من الأكسجين من جهة، وتقلص الطحال الذي يساعد على زيادة عدد الكريات الحمراء وكميات الهيموغلوبين في الدم من جهة اخرى. وإذا ما ازداد التعرض لزيادة الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون PCO_2، تتدخل عندها الكلى فيزداد طرحها للبيكربونات، مما يسبب بانخفاض تركيز ثاني أكسيد الكربون وعودته إلى وضعه الطبيعي.

ب- نقل ثاني أكسيد الكربون:

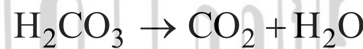
يتم نقل الدم لثاني أكسيد الكربون بطريقة مختلفة تماماً عن طريقة نقله للأكسجين، حيث يمكن أن يتحد ثاني أكسيد الكربون مع الزمرة الأمينية لبروتينات الهيموغلوبين ويشكل رابطة كاربامينية تدعى بالكاربامينو Carbamino (CO_2Hgb).



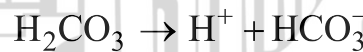
$$Hgb \cdot NH_2 \xleftrightarrow{CO_2} Hgb \cdot NH \cdot COOH$$

ينقل الدم حوالي 25% من ثاني أكسيد الكربون الكلي بهذه الصورة، أما الجزء الثاني والذي يشكل حوالي 8% منه فينقل على هيئة محلول فيزيائي، وما تبقى من غاز CO_2 (67%) فيتم نقله على هيئة بيكربونات.

يدخل ثاني أكسيد الكربون أولاً بشكل محلول فيزيائي، وبما أنه غاز شديد النفوذ فهو يدخل إلى الكرية الحمراء ويتحد مع الماء مشكلاً حمض الكربون. وبما أن هذا التفاعل بطيء جداً فيسرع بوجود أنزيم كاربونيك إنهيدراز Carbonic anhydrase الموجود داخل الكريات الحمر. إلا أن حمض الكربون سرعان ما يتشرد إلى شاردتي البيكربونات والهيدروجين.



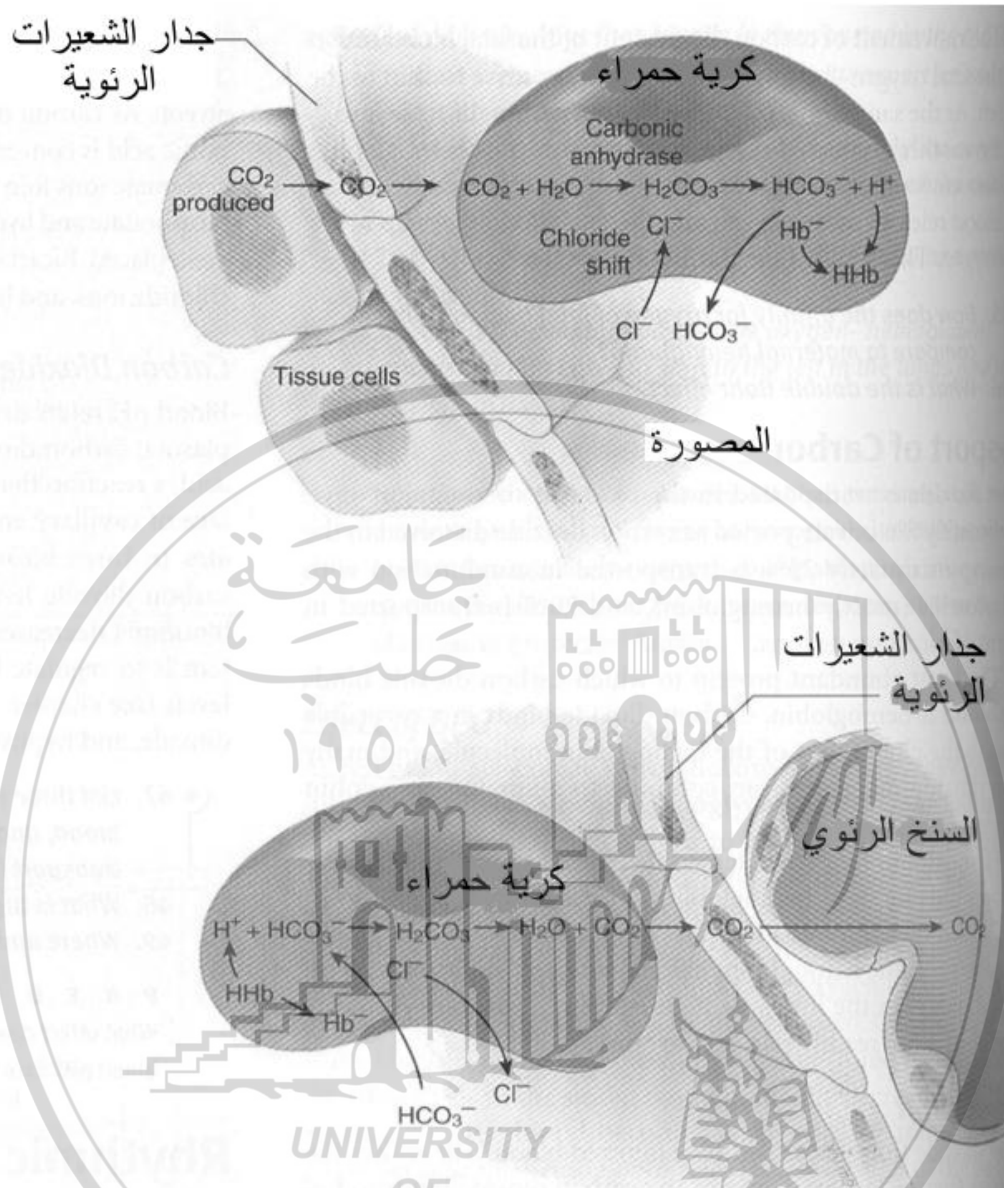
$$H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$$



$$H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$$

وبما أن جدار الكريات الحمر غير نفوذ للغرويات والشوارد الموجبة، ونفوذ للشوارد السالبة، فهذا يسمح لشاردة البيكربونات ذات التركيز العالي ضمن الكرية الحمراء بأن تخرج بسرعة إلى المصورة، الأمر الذي يستدعي دخول شوارد الكلور لتأمين التوازن اللازم. أما شوارد البيكربونات التي غادرت الكرية فتعدلها شوارد الصوديوم الموجودة بكثرة في المصورة، وهكذا تكون المحصلة العامة تحول CO_2 إلى بيكربونات تنقل ضمن المصورة عوضاً عن شوارد الكلور التي دخلت الكرية ، (الشكل رقم 33).

إن هذه الحوادث التي تعرف باسم حوادث نقل الكلور Chloride Shift، تعتمد على تركيز ثاني أكسيد الكربون. وبما أن هذا التركيز قرب السطوح التنفسية يكون أقل مما هو عليه قرب الأنسجة، لذا فان الحوادث تتم قرب هذه الأنسجة ولكن بشكل معاكس.



الشكل رقم (33): حوادث نقل CO_2 على شكل بيكربونات

الفصل الرابع

فيزيولوجيا الاطراح

Urinary Physiology

بالرغم من أن تكوين الجسم الحي وتوازنه لا يبقيان شيئاً ساكناً وإنما يتميزان بحركة ديناميكية متوازنة، فالتكوين الثابت للجسم يتحقق رغم الحركة المستمرة للمواد داخل هذا الجسم. ويتحقق ثبات الوسط الداخلي بالأنشطة المتناسقة لأجهزة عديدة في الجسم كالجهاز الدوري والجهاز العصبي والجهاز الهرموني، وقيام الأعضاء التي تخدم عمليات التبادل مع البيئة الخارجية مثل: الكليتين والرئتين والقناة الهضمية والجلد.

يتضمن الاطراح جميع العمليات التي تعمل على تخليص الجسم من مخلفات الاستقلاب، وتشمل هذه المخلفات التخلص من الماء والأملاح المعدنية الزائدة عن حاجة الجسم والتخلص من المركبات السامة (البولة وحمض البولة). إضافة الى ذلك تهدف الوظائف الاطراحية إلى الحفاظ على توازن الوسط الداخلي للجسم من خلال التوازن المائي الملحي بين سوائل الجسم والوسط الذي يعيش فيه الحيوان والمساهمة في تنظيم درجة حرارة الجسم عند ذوات الدم الحار وفي تنظيم درجة حموضة سوائل الجسم.

1- بنية جهاز الإطراح عند الإنسان:

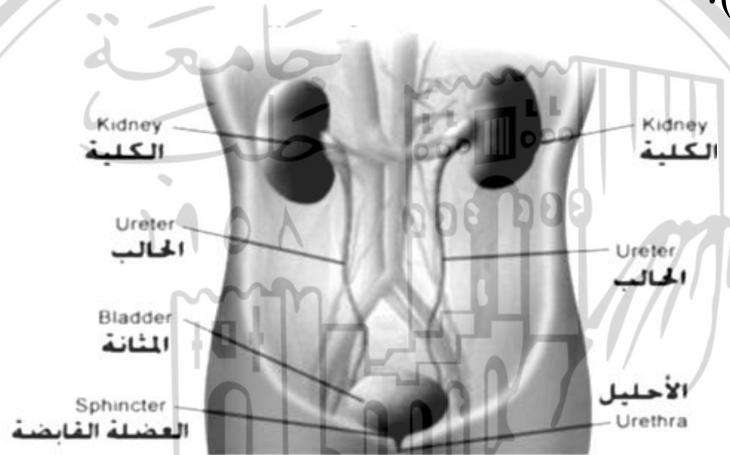
يتألف جهاز الاطراح Urinary System عند الإنسان، (الشكل رقم 34) من: الكليتين Kidneys ، والحالبين ureters ، والمثانة Bladder ، والاحليل urethra.

تقع الكليتان على جانبي العمود الفقري، تمتد كل كلية من مستوى الفقرة الصدرية الثانية عشرة حتى الفقرة القطنية الثالثة. تحاط الكلية من الخارج بمحفظة من نسيج ضام، وتتميز من الجهة الداخلية بانخماص (سرة)، تعبر من خلاله الأوعية الدموية والأعصاب.

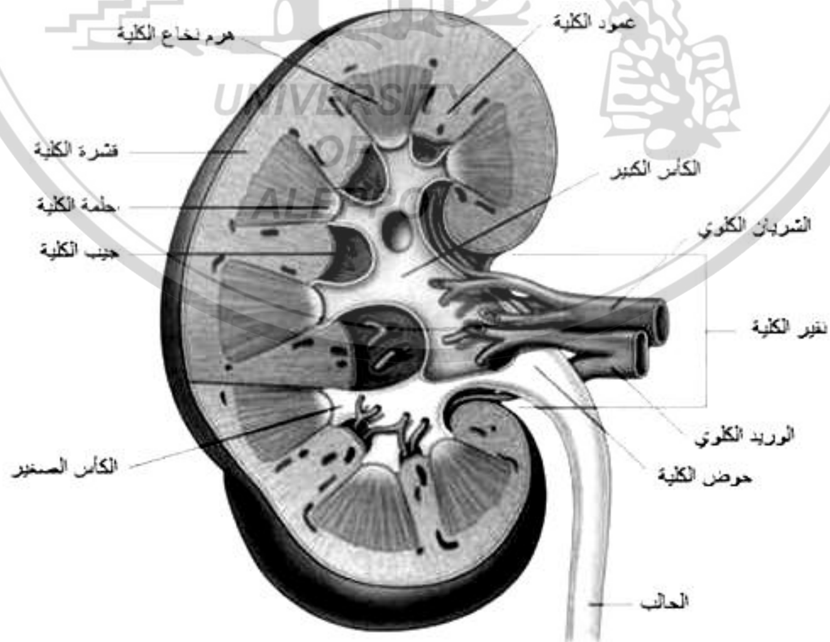
2- البنية النسيجية للكلية:

تبدو الكلية في القطاع الطولي مكونة من منطقتين: منطقة محيطية تدعى القشر الكلوي Renal cortex، وتحتوي على نفرونات القشر، ومن منطقة أكثر عمقاً تدعى اللب

الكلوي Renal Medulla. تتداخل المنطقة القشرية مع المنطقة اللبية على شكل أعمدة، بينما تتداخل المنطقة اللبية مع المنطقة القشرية بشكل أهرامات تتجه نحو تجويف الكلية والذي يعرف بحويضة الكلية. الأهرامات اللبية تتشكل من اجتماع القنوات الجامعة للنفرونات، والتي تنتهي بالثقوب الحلمية التي تصب في حويضة الكلية عن طريق الكؤيسات الكبيرة التي شكلتها فروع أصغر تدعى الكؤيسات الصغيرة. يمتد من كل كلية حالب يتراوح طوله بين (25-30) سم يخرج من حويضة الكلية ليصب في الجانب الظهري للمثانة البولية، ويفرغ البول من المثانة عن طريق الاحليل مجرى البول النهائي، (الشكل رقم 35).



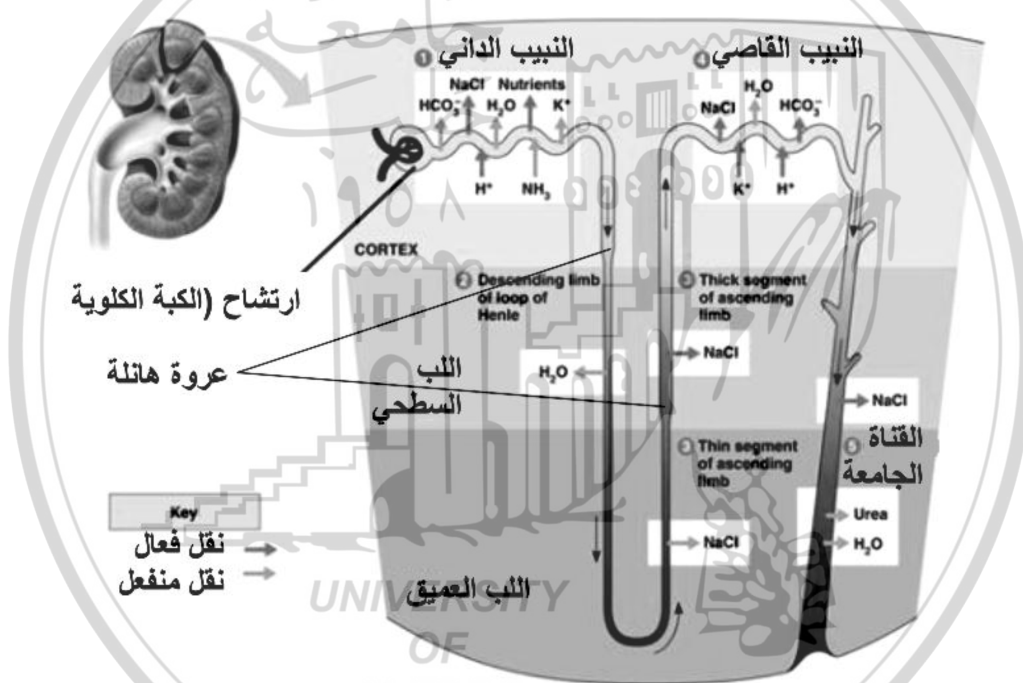
الشكل رقم (34): الجهاز البولي عند الانسان



الشكل رقم (35): بنية الكلية كما تبدو في المقطع الطولي عند الأنسان

تتكون الكلية من اجتماع عدد كبير من الأنابيب البولية Nephrons (حوالي المليون نفرون في كل كلية) التي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالأوعية الدموية مشكلة الوحدة البنيوية الوظيفية للكلية. وكل نفرون له القدرة على القيام بجميع الوظائف المطلوبة لتشكيل البول.

النفرون عبارة عن نبيب Tubule طوله 3 سم تكون بدايته على هيئة كأس ثنائي الطبقات يحيط بكبة شعرية شريانية، وتصب نهايته في القناة الجامعة. ويتألف النفرون من الكبيبة الكلوية والنبيب البولي، بالإضافة إلى الجهاز المجاور للكبيبات، (الشكل رقم 36).



الشكل رقم (36) : يوضح بنية النفرون

أ- الكبيبة الكلوية Renal Glomerulus (كبة مالبيكي):

هي شبكة من الأوعية الشعرية المتفاغرة فيما بينها تأخذ مظهر كبة وعائية مؤلفة من نحو 50 وعاءً شريانياً، وهي تتلقى الدم من شريان متفرع عن الشرين الوارد Afferent Arteriole، ويغادرها الدم عبر الشرين الصادر Efferent Arteriole. تحاط شبكة الأوعية الشعرية بمحفظة من نسيج ضام تدعى محفظة بومان Bomana's Capsule، والتي تتألف من وريقتين الأولى جدارية والثانية حشوية يفصل بينهما فراغ يكون على اتصال

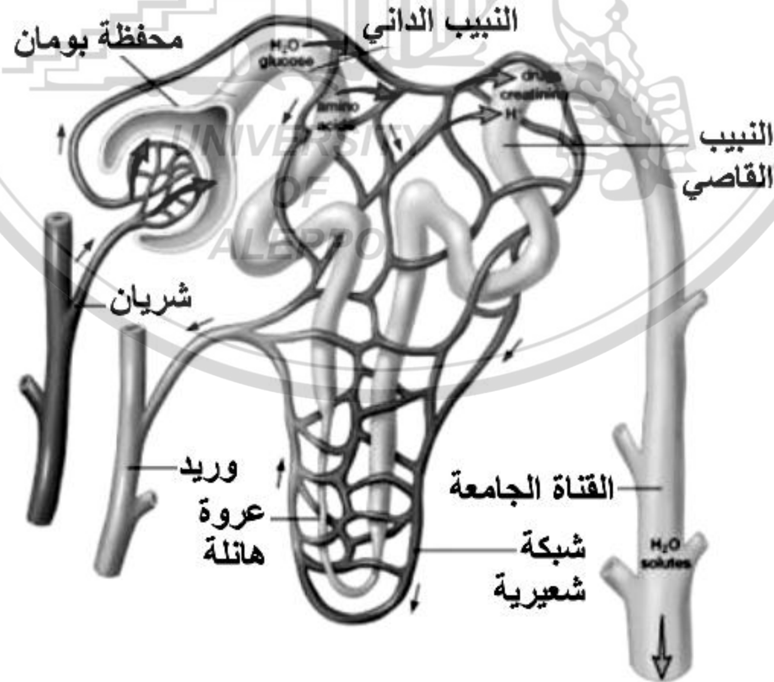
مع لمعة النبيب البولي. تحيط الطبقة الحشوية بالأوعية الشعرية لتكون الغشاء الكبيبي الذي ترتشح من خلاله مكونات المصورة الدموية باستثناء البروتينات التي لا ينفذ منها سوى أقل من 0.03% من مجموعها، أي أن الرشاحة الكبيبية Glomerular Filtrate هي مصورة خالية من البروتينات تقريباً.

ب- النبيب البولي Urinary Tubule:

يتمادى النبيب البولي مع محفظة بومان، وظيفته تحويل الرشاحة الكبيبية إلى بول نهائي، ويتألف من أربعة أجزاء:

1- النبيب الداني Proximal Tubule: قسمه المتعرج يقع في منطقة القشرة و يمتد حتى الحدود بين القشرة واللب ليصبح بعدئذٍ مستقيماً وضيق الفتحة. خلاياه غنية بالمقتدرات لذلك يتميز بقدرة عالية على إعادة الامتصاص .

2- عروة هانلة loop of Henley: وتتألف من شعبة نازلة رفيعة نفوذة للماء وخلاياها فقيرة بالمقتدرات، وشعبة صاعدة تكون في البدء رفيعة ثم تصبح ثخينة وهي غير نفوذة للماء وخلاياها غنية بالمقتدرات وذات قدرة كبيرة على إعادة امتصاص شوارد الصوديوم. تظهر عروة هانلة بشعبتيها النازلة والصاعدة متوضعة في المنطقة اللبية.



الشكل رقم (37): يوضح بنية النفرون والأوعية المستقيمة

3- النبيب القاصي Distal Tubule: يبدأ بقسم مستقيم وهو امتداد للقسم الصاعد من عروة هانلة ويحوي اللطخة الكثيفة، وقسم متعرج يقع في المنطقة القشرية ويصب في النبيب الجامع، خلاياه غنية بالمقتدرات وذات قدرة كبيرة على إعادة امتصاص شوارد الصوديوم بشكل اختياري وبوجود هرمون الألدوستيرون.

4- النبيب الجامع Collecting Tubule: يرتبط مع النبيب القاصي بقناة صغيرة ويتجه على شكل أنبوب مستقيم نحو اللب بشكل مواز لعروة هانلة حاملاً البول إلى حويضة الكلية Renal pelvis، ويتم في مستواه تركيز البول وإعطاؤه الشكل النهائي.

يزود الأنبوب البولي بنوعين من الشعيرات الدموية، (الشكل رقم 37). إحداهما تشكل كبة مالبيكي محاطة بمحفظة بومان، وهي تتلقى دماً شريانياً عبر الشرين الوارد، ويصدر عنها دم شرياني عبر الشرين الصادر، وفي مستوى كبة مالبيكي تتم عملية الترشيح. أما النوع الثاني من الشعيرات الدموية فيتكون من شبكة من الشعيرات الدموية التي تحيط ببقية الأنبوب البولي وفي مستواها تتم عمليات إعادة الامتصاص والإفراز.

يتوضع 70-80 % من النفرونات في قشر الكلية، بينما يتوضع الباقي 20- 30% قرب لب الكلية، وهذه النفرونات قرب اللبية تتجه عرى هانلة العائدة لها عميقاً لتصل إلى حويضة الكلية وهي ذات طاقة إفرازية كبيرة وتلعب دوراً مهماً في امتصاص الأملاح وتكثيف البول.

ج- الجهاز المجاور للكبيبات Juxta Glomerular Apparatus:

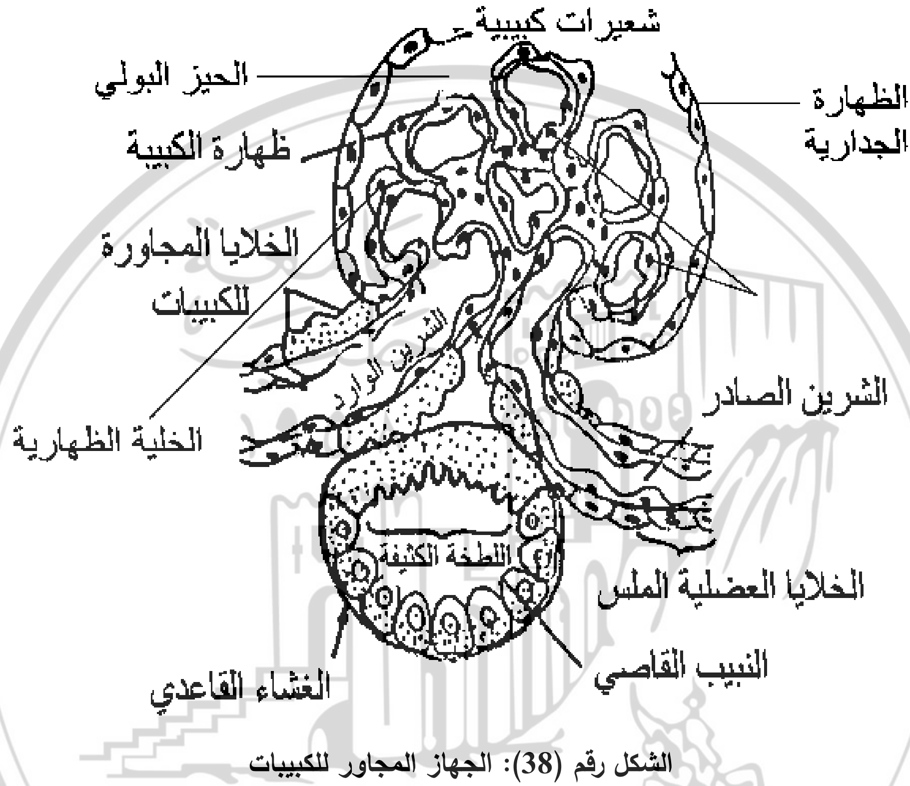
يوجد هذا الجهاز في منطقة تماس النبيب القاصي مع الشرين الوارد والشرين الصادر ويتألف الجهاز المجاور للكبيبات، (الشكل رقم 38) من:

1- اللطخة الكثيفة (البقعة الكثيفة) Macula Dense:

وهي خلايا القسم البدئي للنبيب القاصي، تتواجد عند نقطة التماس مع الشرين الوارد، وتتصف هذه الخلايا أنها أكثف من باقي خلايا النبيب وأن جهاز كولجي الخاص بخلايا هذه اللطخة (وعلى النقيض من بقية الخلايا الظهارية للنبيب)، يفرز البروستاغلاندينات نحو الشرينات، بدلاً من إفرازها نحو لمعة النبيب.

2- الخلايا المجاورة للكبيبات Juxta glomerular Cells:

وهي خلايا عضلية ملساء تتواجد في جدار الشرين الوارد خاصة عند تماسه مع النبيب القاصي، وتتصف بأنها خلايا كثيفة وتحتوي على حبيبات إفرازية من طبيعة رينين.



الشكل رقم (38): الجهاز المجاور للكبيبات

3- وظائف النبيب البولي:

أ- النبيب الداني (القريب): يعاد في مستوى النبيب الداني امتصاص 65% من حجم الرشاحة الأولية، ويشمل إعادة امتصاص كل من الحموض الأمنية، والغلوكوز ومعظم الشوارد Na^+,Ca^{++},Cl^-,K^+ بألية النقل الفعال، بينما يعاد امتصاصها البروتينات بآلية الاحتساء pinocytosis، وامتصاص الماء بطريقة الحلول. إضافة إلى ذلك يفرز النبيب الداني الأملاح الصفراوية والأكزالات والبولة.

ب-عروة هانلة: يعاد امتصاص الماء في الفرع النازل الرفيع مما يسبب بالتدريج ارتفاع الضغط الحلولي للسائل في اللمعة، وامتصاص شوارد الصوديوم من جهة ثانية في الفرع الصاعد الثخين ليصبح الضغط الحلولي في نهاية العروة منخفضاً.

ج–النبيب القاصي: يعاد في مستوى النبيب القاصي امتصاص معظم الماء المتبقي والشوارد $HCO_3^-, Ca^{++}, Cl^-, Na^+ ,Mg^{++}$ من جهة،. وإفراز شوارد الهيدروجين H^+ والبوتاسيوم K^+ في بداية ونهاية النبيب القاصي من جهة أخرى.

4- الوظائف الاطراحية للكلية:

تلعب كلى الإنسان دوراً حساساً في اقتصاديات الجسم، فهي تحافظ على ثبات الوسط الداخلي Homeostasis وفشلها يعني الموت. فهي تراقب وتنظم أغلب مكونات الدم، وتساهم في إزالة العديد من المواد الضارة التي تدخل الجسم مع الأكل والشرب والتنفس.

وإن الطريقة التي تؤدي بها الكلية وظيفتها قد تثير الانتباه، فرغم أن الكلى لا تشكل أكثر 0.5% من وزن الجسم في الإنسان، إلا أنها تستقبل حوالي 25% من الدم الذي يضخه القلب، والذي يصل إلى (2000) ليتر تقريباً في اليوم. يقوم كل نفرون في تصفية المصورة الدموية من المواد غير المرغوب فيها، مثل البولة وحمض البول والكرياتينين، بالإضافة إلى فائض الشوارد مثل ($H^+, Cl^-, K^+ Ca^{++} , Na^+$) والعديد من المواد الضارة الأخرى، وتكوين كمية بسيطة من البول تتضاعف بقدر عدد النفرونات العاملة في الكلية. وأثناء مرور البول في أقسام النفرون تضاف إليه مواد وتسحب منه مواد أخرى والناتج النهائي لهذه العملية هو تكوين بول نهائي لا تزيد كميته عن (1.5–2) ليتر في اليوم. وتمر عملية تشكيل البول في النفرون بعدة مراحل، هي:

أ- الترشيح الكبيبي Glomerular Filtration:

يدعى السائل الذي يرتشح عبر كبة مالبيكي إلى محفظة بومان بالرشاحة الأولية، كما ويدعى غشاء الشعيرات الكبيبية بالغشاء الكبيبي. وأثناء مرور الرشاحة عبر مختلف أجزاء النفرون يعاد امتصاص المواد المرغوب بها مثل (الماء والشوارد والحموض الأمينية والغلوكوز والفيتامينات) بينما تفشل المواد غير المرغوب بها بالامتصاص ولاسيما الناتج النهائي للاستقلاب حيث يتم طرحها في البول. وتتم عملية الارتشاح من خلال الغشاء الكبيبي الذي يمتاز بنفوذية كبيرة تفوق نفوذية الأغشية الشعرية الأخرى في الجسم بمقدار

(500-100) ضعف، وباصطفائية عالية تمكنه من اختيار الجزئيات التي يسمح لها بالعبور حسب حجومها.

يتم ارتشاح جزء من المصورة الدموية إلى داخل الأنابيب البولية على مبدأ الضغط المتعاكس بين ضغط الدم الشرياني في الكبيبات والذي يعادل 75 ملم/ز وله دور ايجابي ورئيسي في آلية الترشيح الكبيبي (القوى المعززة للترشيح) من جهة، ومجموع ضغوط يشكلها كل من الضغط الحلولي للمصورة الدموية والذي يعادل 30 ملم/ز والضغط الحلولي الكلوي الخلالي والذي يعادل 10 ملم/ز وضغط محتويات الأنبوب الكلوي نفسه الذي يعادل 10 ملم/ز، هذه الضغوط لها دور سلبي في عملية الترشيح (أي أنها تعاكس الترشيح) من جهة أخرى. وهكذا تغادر الرشاحة محفظة بومان بضغط مقداره 25 ملم/ز، (الشكل رقم39). تدعى كمية الرشاحة الكبيبية المتشكلة في جميع نفرونات الكليتين في الدقيقة الواحدة بمعدل الرشح الكبيبي، الذي يقدر بحوالي (120) مل/د، وتقدر كمية الرشاحة الكبيبية في اليوم بـ (180) ليتراً عند الشخص البالغ.



الشكل رقم (39): ارتشاح المصورة الدموية على مبدأ الضغط

إن أي عامل يسبب انخفاض في قيمة الضغط الشرياني أو يزيد من الضغوط المعاكسة للضغط الشرياني في سوية الكليتين سيقلل من كمية الرشاحة المتشكلة في الأنابيب البولية للكلية. وقد يتوقف الرشح كلياً عندما تتساوى القوتان المتعاكستان ويؤدي ذلك إلى حصول ما يعرف بالفشل الكلوي. وهناك العديد من العوامل التي يمكن أن تؤثر في معدل الرشح الكبيبي:

- العوامل التي تخفض معدل الرشيح الكبيبي:

أ- هبوط الجريان الدموي الكلوي (نتيجة الانخفاض الشديد في الضغط الدموي).

ب- ارتفاع الضغط الحلولي لبروتينات المصورة (تكثف الدم).

ج- نقص عدد النفرونات العاملة بسبب أذية مرضية.

د- اصطدام البول بعائق كحصاة أو خثرة دموية يؤدي إلى رفع الضغط في محفظة بومان.

- العوامل التي تزيد معدل الرشح الكبيبي:

أ- زيادة الجريان الدموي الكلوي.

ب- انخفاض الضغط الحلولي لبروتينات المصورة.

ج- زيادة مقوية الشرين الصادر (تضيق في الشرين الصادر).

د- نقص مقوية الشرين الوارد (توسع الشرين الوارد).

إن دقة التنظيم الذاتي لمعدل الجريان الدموي ومعدل الرشح الكبيبي تحتاج إلى جهاز رفيع الكفاءة. ومن دواعي السرور أن يمتلك كل نفرون آليتين خاصتين للتقليم الراجع، وذلك من النبيب القاصي وحتى الشرينات المحيطة بالكبيبات، وهما:

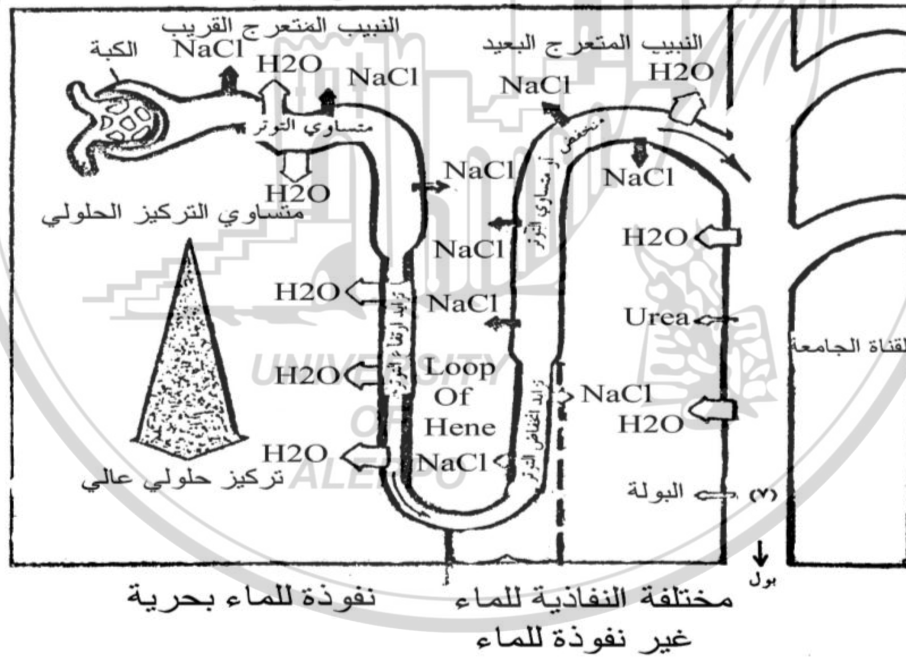
- توسع الشرينات الوارد
- تضيق الشرينات الصادرة.

وكما يوحي البناء التشريحي للجهاز المجاور للكبيبات فان تركيب الرشاحة الكبيبية للنبيب القاصي ولاسيما محتواها من شوارد الصوديوم والكلور يلعب دوراً مهماً في ضبط معدل الجريان الدموي ومعدل الرشح الكبيبي وفق آلية التقليم الراجع. ويعتقد في هذه

الحالة بأن انخفاض تركيز هذه الشوارد في مستوى اللطخة الكثيفة والناجم أساساً عن انخفاض معدل الرشح وازدياد امتصاص هذه الشوارد يؤدي إلى تحرر البروستاغلاندينات من خلايا اللطخة الكثيفة التي تعمل على توسيع الشرين الوارد وحث الخلايا العضلية الملساء الموجودة في جدار الشرين الوارد في نقطة تماسه مع النبيب القاصي على إفراز الرينين. تحرير الرينين ينشط مولد الأنجيوتنسين ويحوله إلى انجيوتنسين (I) ومن ثم إلى الأنجيوتنسين (II) الذي يبدي تأثيراً مضيقاً وعائياً شديداً على الشرين الصادر. وفي كلتا الحالتين تكون النتيجة ازدياد الضغط الكبيبي وبالتالي ازدياد معدل الرشح الكبيبي.

ب- إعادة الامتصاص Reabsorption:

تكتمل عملية تشكل البول، (الشكل رقم 40) التي بدأت بارتشاح جزء من المصورة الدموية بمعالجة الرشاحة الأولية أثناء مسيرها عبر النبيبات الكلوية بدءاً من النبيب الداني وانتهاءً بالقناة الجامعة.



الشكل رقم (40): آلية تشكل البول عند الإنسان

فخلال هذه الرحلة للرشاحة الكبيبية تقوم النبيبات الكلوية بفصل المواد التي يجب إبقاؤها في الجسم عن تلك الواجب طرحها مع البول وذلك بطريقة عودة الامتصاص لبعض المواد بشكل اصطفائي وإفراز بعضها الآخر من خلال الغشاء النبيبي. وهذا ما

دلت عليه الفوارق بين تركيب البول النهائي وتركيب الرشاحة البولية، كما هو موضح بالجدول رقم (1).

الجدول (1) يوضح الفوارق بين تركيب البول النهائي

وتركيب الرشاحة البولية عند الإنسان

المادة	الكمية التي تمر إلى الكبة في اليوم	الكمية التي تمر إلى البول في اليوم
الصوديوم	600 غ	6 غ
البوتاسيوم	35 غ	2 غ
الكالسيوم	5 غ	0.2
الغلوكوز	180 ملغ	آثار
الماء	180 ل	1.5 ل
البولة	60 غ	35 غ

يتضح من الجدول أن حوالي 99% من الماء والغلوكوز والحموض الأمينية وكميات قليلة من الأملاح تعود إلى الدم بطريق معاكس لمجال التركيز وبآليات النقل الفعال الذي يستهلك كميات كبيرة من الطاقة، ويتابع الجزء المتبقي سيره ليشكل البول النهائي. فإن دل ذلك على شيء فإنما يدل على المشاركة القوية والنشطة التي تقوم بها الخلايا الظهارية للنبيبات المتعرجة الكلوية في إعادة امتصاص هذه المواد وإرجاعها ثانية إلى الدورة الدموية الجهازية.

إن لمعظم المواد التي ترتشح عبر النبيبات الكلوية حداً أقصى للكمية التي يمكن إعادة امتصاصها، وهذا ما يسمى بالحد الأقصى لنقل المادة Maximum Transport. فعلى سبيل المثال، يعاد امتصاص سكر الغلوكوز طبيعياً بصورة كاملة في الكلية، لأن الحد الأقصى لعملية إعادة امتصاص الغلوكوز هي أعلى بكثير من كمية الغلوكوز الموجودة طبيعياً في الرشاحة الأولية (80-120) ملغ/100 مل. إلا أن هذه الإمكانية تتوقف إذا زاد تركيز الغلوكوز في الدم عن (180) ملغ/ 100 مل، وعندها لا تتمكن النبيبات الكلوية من إعادة امتصاص كامل للسكر، لأن تركيزه يفوق الحد الأقصى للقدرة الامتصاصية لهذه النبيبات ويظهر عندئذ السكر في البول.

وفيما يتعلق بالمواد الأخرى والتي لها أهمية خاصة بتغذية الجسم مثل الحموض الأمينة والبروتينات والفيتامينات، ففي الظروف الطبيعية يعاد امتصاصها كاملة في النبيب الداني ولا يبقى في الرشاحة الأولية التي تدفقت نحو عروة هانلة أي أثر لها. وإضافة إلى ذلك ونظراً لكون جزيء البروتين كبيراً جداً، فان إعادة امتصاصه تتم بطريقة الاحتساء.

وبخلاف الغلوكوز، فان معظم الأملاح المعدنية تطرح في البول بكميات متفاوتة وينظم عمليات إخراجها آليات مختلفة. فعلى سبيل المثال: يرافق الـ (180) ليتراً من المصورة التي ترتشح يومياً من الدم عبر محفظة بومان، كمية من كلور الصوديوم تقدر بـ (600) غ. إلا أن 80-85 % من هذه المادة يعاد امتصاصه في النبيب الداني، وهذا الامتصاص هو امتصاصاً إجبارياًObligate Reabsorption لأنه محكوم تماماً بعملية فيزيائية (الضغط الحلولي للأملاح) ويصبح السائل الذي يترك النبيب الداني متساوي التواتر بالمقارنة مع النسيج المحيط به وهي بحدود (300) ميلي حلولي /ليتر.

أما في النبيب القاصي، فتتم إعادة امتصاص كلور الصوديوم تحت سيطرة هرمون الألدوستيرون امتصاصاً اختيارياً Facultative Reabsorption.

ج- الإفراز Secretion:

تفرز بعض المواد مثل الكرياتينين والعقاقير، والأملاح الصفراوية Bile Salts شوارد البوتاسيوم بشكل منفعل وبآلية تشبه إعادة امتصاص الكلور والماء بواسطة الانتشار في النبيب القاصي لتطرح مع البول. وأيضا تتركب داخل خلايا النبيبات المتعرجة شوارد الامونيوم لتعمل على ضبط درجة حموضة الرشاحة الأولية.

5- آلية تركيز البول وتمديده في الكلية:

إن عملية تركيز البول ليست بسهولة عملية تمديده. و تدعو الحاجة في بعض الأحيان إلى تكثيف البول قدر المستطاع، كما هو الحال عند تعرض الإنسان إلى ظروف صحراوية قاسية.

ولقد طورت الكلى بالاعتماد على الخواص التشريحية لعرى هانلة والأوعية المستقيمة التي تغوص في أعماق اللب الكلوي آلية خاصة تسبب ارتفاعاً كبيراً في

الضغط الحلولي للسائل الخلالي اللبي بالمقارنة مع القشرة كخطوة أولى و مهمة من أجل طرح بول شديد التركيز.

وكما هو موضح في الشكل رقم (41)، فإن حلوليه الرشاحة الأولية تزداد بشكل متدرج من (300) ملي حلولي / ليتر لدى دخولها النبيب الداني لتصل إلى (1200) ملي حلولي / ليتر في أسفل عروة هانلة.

تمتلك الخلايا الظهارية لعروة هانلة ميزات خاصة تسمح بحصول تدرج حلولي للبول على امتدادها مما يسمح بالتحكم بإعادة امتصاص الماء من البول وإعادته إلى الدم بشكل إجباري مما يضمن الحفاظ على التوازن المائي الملحي لسوائل الجسم والتحكم بخسارة الجسم للماء. الفرع الهابط من عروة هانلة نفوذ للماء وغير نفوذ لشوارد الصوديوم، أما فرعها الصاعد فهو نفوذ لشوارد الصوديوم وغير نفوذ للماء والبولة. الرشاحة الأولية التي تشكلت في محفظة بومان والنبيب الداني تبقى متساوية التوتر بالمقارنة بالنسج المحيطة بها بسبب عودة امتصاص فعال للصوديوم بالنبيب الداني ويرافقها عودة امتصاص تلقائية للماء. ونظراً لكون الفرع الصاعد لعروة هانلة نفوذ للصوديوم دون الماء تصبح المنطقة الخلاليه المحيطة بالعروة أكثر تركيزاً بالمواد المذابة مما يسمح بسحب الماء بصورة سلبية من القسم الهابط للعروة فيؤدي إلى ارتفاع تركيز الصوديوم في الرشاحة الموجودة في القسم الهابط من العروة. علماً أن قسماً من الصوديوم الخارج من الجزء الصاعد لعروة هانلة يعاد امتصاصه موضعياً في الجزء الهابط من العروة ليساهم في زيادة تدرج تركيز البول كلما اتجهنا من محيط الكلية نحو اللب. أما عن آلية عبور الصوديوم من القسم الصاعد إلى السائل الخلالي المجاور للفرع الصاعد فيتم بطريقة فعالة ويعقبه عبور لشوارد الكلور بحسب التدرج الكهربائي الساكن عبر الأغشية الخلوية. هذا ويتضاعف النقل الشاردي الفعال في الفرع الصاعد كلما سحب الماء من الفرع الهابط بكمية كبيرة. أي إن الرشاحة في القسم الصاعد في عروة هانلة تعاني انخفاضاً بالتركيز بالتدريج مع الاحتفاظ بتركيز عال من البولة وتصبح الرشاحة متساوية أو منخفضة التركيز لدى وصول الرشاحة إلى النبيب القاصي.

كما تساهم البولة التي يعاد امتصاصها في الجزء القاصي من القناة الجامعة الموازية للعروة في تدرج التركيز الحلولي للسائل الخلالي من منطقة قشر الكلية إلى لبها عند قاع العروة. علماً بأن النبيب القاصي والجزء الداني من القناة الجامعة غير نفودين للبولة ولكنهما نفوذان للماء. هذا و يسهم أيضاً في رفع حلوليه السائل الخلالي اللبي بوضوح انتثار البولة من القناة بفضل آليتين :

أ- ركوده الجريان الدموي عبر الأوعية المستقيمة: حيث يجري الدم ببطء شديد و كمية الدم الجارية عبر هذه الأوعية تقرب من 1-2 % من مجموع الدم المار بالكلية مقابل 98% تقريباً من الدم الذي يجري عبر القشرة، الأمر الذي يمنع جرف الذوائب من المنطقة اللبية بشكل متواصل و تحافظ على حلوليه اللب مرتفعة.

ب- فرضية التيار المعاكس: تتمكن الكلية من الاحتفاظ بتدرج الضغط الحلولي بين القشرة واللب من خلال تعزيز الضغط الحلولي اللبي الذي يعتمد بحسب نظرية التيار المعاكس Counter Current Theory على تبادل السوائل والذوائب بسهولة بين فرعي عروة هانلة القريبين من جهة، وبين فرعي الأوعية الدموية المستقيمة التي تحيط بعروة هانلة من جهة أخرى.

فعبور البولة من الجزء القاصي للقناة الجامعة بطريقة منفعلة إلى السائل الخلالي يسبب في زيادة تركيز المواد المذابة في لب الكلية وزيادة ضغطها الحلولي، الأمر الذي يستدعي معه تناضح الماء من القناة الجامعة وبالتالي المساهمة في زيادة تركيز البول النهائي قبل أن يصب في حويضة الكلية.

نستنتج مما سبق أن الضبط النهائي لتركيز البول لا يحدث في عروة هانلة وإنما يحدث في القنوات الجامعة. فالبول المتشكل والذي دخل النبيب القاصي قادماً من عروة هانلة يكون مخففاً بسبب سحب الأملاح بصورة نشطة. وتستمر عملية زيادة تخفيف تركيز البول بإعادة الامتصاص النشط لمزيد من كلور الصوديوم في النبيب القاصي.

إن هذا التفسير يوضح أهمية شكل عروة هانلة وشكل الأوعية الدموية المحيطة بها، إذ أن ازدياد طول فرعي العروة يؤدي إلى زيادة كبيرة في تركيز البول. بدليل أن حيوان القندس الذي لا يكون بحاجة لادخار الماء في بيئته المائية، فهو يمتلك عروة هانلة

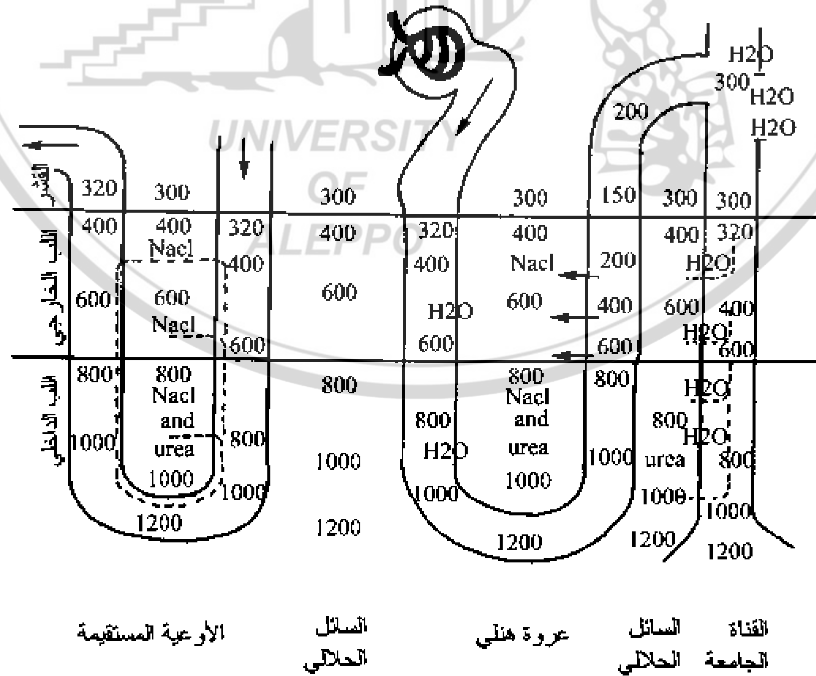
قصيرة، بينما الفأر الاسترالي الذي يكون بحاجة لادخار الماء في بيئته الصحراوية يستطيع أن يكون بولاً يزيد تركيزه بمرتين أو أكثر من تركيز ماء البحر، ويعود السبب في ذلك إلى امتلاكه عرى هانلة طويلة جداً. أما كلية الإنسان وبسبب قصر عرى هانلة فإنها لا تشكل بولاً مركزاً، وهذا هو السبب الذي يمنع الإنسان من استعمال الماء المالح للشرب.

6- الوظائف غير الافراغية للكلية:

أ- المساهمة في رفع الضغط الشرياني الأعظمي من خلال إفراز خلايا الجهاز المجاور للكبيبات الرينين Rennin عند انخفاض الضغط الشرياني الأعظمي.

ب- المساهمة في تكوين الكريات الحمر في نقي العظم من خلال إفراز الخلايا البطانية الوعائية للشرين الوارد إلى الكلية الأيثروبيوتين عند انخفاض عدد الكريات الحمر إما بسبب عامل فيزيولوجي (الصعود إلى المرتفعات) أو بسبب عامل مرضي (فقر الدم).

ج- المساهمة في وظائف استقلابية عديدة منها تحويل فيتامين د إلى شكله الفعال (1-25 ثنائي هيدروكسي كولي كالسيفرول) الذي ينشط امتصاص شوارد الكالسيوم في سوية الأمعاء.



الشكل رقم (41): آلية تكثيف البول

د- المساهمة في التوازن الحمضي- القاعدي (الأساسي) عن طريق إفرازها لأيونات الهيدروجين H^+، وتكوينها الأمونيا Ammonia عند ميل الوسط الداخلي نحو الحموضة، فتعمل بذلك على طرح هذه الحموضة الزائدة على شكل NH_4Cl.

هـ- المساهمة في استتباب الوسط الداخلي Homeostasis من خلال المحافظة على حجم وتركيز العناصر فيه والمحافظة على ضغطه الحلولي Osmotic Pressure، وذلك عن طريق طرح الماء والأملاح المعدنية الزائدة، أو الحد من طرحها مع البول عند انخفاض حجم السوائل الجسمية.

7- تنظيم عمل الكلية:

يتحكم في حجم البول ومكوناته الطبيعية مجموعة من العوامل الهرمونية والعصبية. فنتيجة التأثيرات العصبية والخلطية تحدث انقباضات أو توسعات للأوعية الدموية الكلوية، كما تحدث تبدلات في نفوذية الكبيبات الوعائية والقدرة الامتصاصية لخلايا النبيبات الكلوية، الأمر الذي ينعكس على عملية تشكل البول.

من الناحية النظرية، جميع العوامل التي تؤدي إلى تغير قيم الضغط الشرياني تتغير معها كمية البول المتشكلة، فزيادة الضغط الشرياني الأعظمي المغذي للكلية بسبب البرودة مثلاً يؤدي إلى زيادة معدل الرشح الكبيبي، بينما انخفاض الضغط الشرياني الأعظمي المغذي للكلية كما في حالة النزف الدموي يؤدي إلى تقليل كمية البول المتشكلة.

ومن الناحية التجريبية، فإن تنبيه فروع العصب المبهم يؤدي إلى زيادة طرح الماء ونقص كمية النواتج الأزوتية، في حين أن تنبيه فروع العصب الودي يؤدي إلى انخفاض كمية البول المطروحة و زيادة كلور الصوديوم.

ومن الناحية العملية، إن الذي يتحكم في حجم البول ومكوناته الطبيعية، هي عوامل هرمونية: الهرمون المضاد للإبالة Antidiuretic Hormone (ADH) وهرمون الألدوستيرون Aldosterone Hormone.

أ- الهرمون المضاد للإبالة Antidiuretic Hormone:

يحرر الهرمون المضاد للإبالة من النخامة الخلفية Posterior Ppituitary (بينما يصنع في الوطاء Hypothalamus)

ينظم إفراز الهرمون المضاد للإبالة المنطقة تحت المهادية (الوطاء) Hypothalamus من الدماغ، التي تتنبه بسيالات عصبية قادمة من المستقبلات الحلوليه Osmoreceptors الموجودة في المنطقة الوعائية تحت المهادية، و من مستقبلات الحجم الموجودة في الصدر.

فالمستقبلات الحلوليه ترد على تغيرات الضغط الحلولي في الدم، فزيادة الضغط الحلولي تسبب ازدياداً في نشاط النواة فوق البصرية من المنطقة تحت المهادية، و بالتالي حث الفص الخلفي من الغدة النخامية على تحرير الهرمون المضاد للإبالة. يعمل هذا الهرمون على تفعيل أنزيم الأدنيل سيكلاز Adenyl Cycles الموجود على الغشاء القاعدي الجانبي للخلايا الظهارية في النبيبات القاصية والقنوات الجامعة، مما يؤدي لاحقاً إلى تشكيل الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي في سيتوبلاسما الخلية. ينتشر الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي إلى الجهة اللمعية من الخلية ويؤدي هناك في غضون دقائق قليلة إلى استطالة البنى الحويصلية في السيتوبلاسما، والتي تندمج بعد ذلك مع غشاء الخلية اللمعي. وبهذه الطريقة تصبح أغشية الحويصلات جزءاً من الغشاء اللمعي للخلية، ويضاف إلى الغشاء قطع تحوي مجموعات من الجزئيات البروتينية تحمل قنوات شديدة النفوذية للماء بالموازنة مع حالته السوية، أي الحالة التي تتصف باللانفوذية التامة تقريباً. وعندما يزول تأثير الهرمون المضاد للإبالة تنفصل البنى الحويصلية عن الغشاء اللمعي للخلية في غضون (10-15) دقيقة وتعود إلى موضعها داخل السيتوبلاسما وتعود النبيبات ثانية كتيمة تجاه الماء.

وتلعب أيضا زيادة حجم الدم دورها في تثبيط إفراز الهرمون المضاد للإبالة عن طريق مستقبلات الحجم. فلو أفرضنا أن هناك شخصاً غير عطشان شرب كوبين من الماء (½ليتر)، فان الماء الزائد سوف يجري امتصاصه مباشرة إلى الدم وسوائل النسج وإلى داخل الخلايا، مما يزيد حجم ماء البدن بمقدار ½ ليتر، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة

حجم الدم منبهاً مستقبلات الحجم. إضافة إلى ذلك تمديد الدم سيؤدي إلى انخفاض ضغطه الحلولي مثبطاً بذلك نشاط المستقبلات الحلوليه. إن كلا التأثيرين السابقين سيخفف من إفراز الهرمون المضاد للإبالة، و بالتالي يخفف عودة امتصاص الماء من قبل النبيبات الكلوية. وهذا يعني زيادة كمية البول، أي طرح ½ ليتر من الماء الزائد. أما في حالة شح الماء في الجسم فان كمية الهرمون المضاد للإبالة سوف تزداد نتيجة تثبيط مستقبلات الحجم وتنشيط مستقبلات الضغط الحلولي، وبالتالي إعادة امتصاص الماء إلى الحد الأقصى، والذي يصل إلى (119.8) مل/دقيقة. وهذا يعني السماح لـ (0.2) مل من الماء بمتابعة السير في النبيب لتشكيل البول، الذي تصل كميته في هذه الحالة إلى (300) مل في اليوم، وهي الكمية الدنيا الضرورية لطرح الفضلات الأزوتية من الجسم.

ب-هرمون الألدوستيرون Aldosterone:

تفرز خلايا المنطقة الكبيبية Glomerulus Zone من قشر الكظر Renal Cortex هرمون الألدوستيرون، استجابة لتفعيل جملة الرينين- انجيوتنسين التي تستجيب إلى نقص شاردتي الصوديوم والكلور. فإذا حصل ولسبب ما نقص في معدل الرشح الكبيبي ينتج عنه فرط إعادة امتصاص شوارد الصوديوم والكلور في الفرع الصاعد من عروة هانلة، مما يؤدي إلى نقص هذه الشوارد عند وصول الرشاحة المارة في النبيب البولي إلى اللطخة الكثيفة للجهاز المجاور للكبيبات. وبهذا الشكل يحرض الخلايا المجاورة للكبيبات على إفراز الرينين الذي يلعب دوراً منشطاً لمولد الأنجيوتنسين ويحوله إلى الشكل الفعال انجيوتنسين (1) ثم إلى انجيوتنسين (2) الذي يحث قشر الكظر على إفراز الألدوستيرون، والألدوستيرون ينشط إعادة امتصاص شوارد الصوديوم وإفراغ البوتاسيوم في النبيبات القاصية.

8- آلية التبول Micturition Mechanism:

التبول هو عملية إفراغ المثانة نفسها عندما تمتلئ بالبول، علماً أن تشكل البول في الكلية يكون بشكل مستمر، إلا أن تفريغه يتم بشكل متقطع. يتجمع البول في المثانة بعد أن يمر في الحالبين، ومن المثانة يخرج البول عن طريق الاحليل Urethra. يحيط ببداية الاحليل عضلتان، إحداهما ملساء داخلية قرب المثانة تدعى المصرة الداخلية، والثانية

مخططة إرادية خارجية بعيدة عن المثانة تدعى المصرة الخارجية. تعصب المثانة والمصرة الداخلية بألياف عصبية ودية ونظيرة ودية. تنشأ الألياف العصبية نظيرة الودية من القطعتين العجزيتين الثانية والثالثة، وتخرج من النخاع الشوكي برفقة العصب الحوضي. وينجم عن إثارة هذه الألياف انقباض جدران المثانة واسترخاء المصرة الداخلية. أما الألياف الودية المعصبة للمثانة فتنشأ من القطعتين الأولى والثانية القطنية، حيث تؤدي إثارتها إلى استرخاء جدران المثانة وانقباض المصرة الداخلية. أما المصرة الخارجية فتحصل على الإمداد العصبي من العصب العاني، (الشكل رقم42).



الشكل رقم (42): آلية التبول عند الإنسان

عندما تقترب المثانة من وضعية الامتلاء حوالي (300) مل من البول تبدا تقلصات التبول المتراكبة فوق بعضها بالظهور. وتحدث هذه التقلصات نتيجة منعكسات التمدد Stretch Receptors التي تبدأ بوساطة مستقبلات التمدد الموجودة في جدار المثانة و يشعر المرء بحاجته إلى التبول، هذا إذا كانت الظروف الاجتماعية مناسبة. لكن في حالة عدم توافر الظروف المناسبة للتبول عندئذٍ تصدر عن قشرة المخ دفعات عصبية تسبب في استرخاء المثانة فينخفض الضغط داخلها ويزول الشعور بالتبول مؤقتاً. و لكن

عندما تصل كمية البول في المثانة إلى (700) مل عندها ينجم عن ذلك شعورٌ بعدم الراحة والألم، الأمر الذي ينجم عنه تشكيل دفعات عصبية تنقل إلى مركز التبول الموجود في المنطقة العجزية من النخاع الشوكي عن طريق الألياف الحسية للعصب الحوضي. يقوم مركز التبول على أثر ذلك بتشكيل دفعات محركة تنقلها الألياف نظيرة الودية للعصب الحوضي إلى عضلات جدار المثانة فتتقلص وإلى المصرة الداخلية فتسترخي.

وفي الوقت نفسه يحصل منعكس آخر نتيجة سقوط بعض القطرات من البول إلى داخل الاحليل منبهاً المصرة الداخلية والتي بدورها تقوم بإرسال دفعات عصبية إلى مركز التبول عن طريق الألياف الحسية للعصب العاني. يقوم مركز التبول على أثر ذلك بتشكيل دفعات محركة تنقلها الألياف الحركية للعصب العاني إلى المصرة الخارجية آمراً إياها بالاسترخاء، الأمر الذي يسمح بطرح البول خارجياً. ملامسة البول لقناة الاحليل ينبه النهايات الحسية الموجودة فيها، والتي ترسل دفعات عصبية إلى مركز التبول تعلمه عن استمرار خروج البول. وعند توقف مرور البول في الاحليل يتوقف إرسال النهايات الحسية للدفعات العصبية إلى مركز التبول مما يسبب في استرخاء عضلات جدار المثانة وانقباض المصرات البولية.

تتأثر عملية التبول أيضاً بظروف الإنسان المختلفة، ففي حالات الانفعال كما في الامتحانات تقل مقدرة المثانة على الاسترخاء والتمدد مؤقتاً و ينجم عن ذلك رغبة مستمرة للتبول مع طرح كمية قليلة من البول في كل مرة.

يمكن إفراغ المثانة إرادياً استجابة للرغبة بالتبول، حيث تنشأ دفعات عصبية من قشرة المخ تذهب إلى الألياف العصبية العجزية المعصبة للمثانة فتنقبض الألياف العضلية للمثانة وتسترخي المصرات عن طريق تثبيط المراكز المنظمة لها. إضافة إلى ذلك يشارك عضلات المثانة في عملية التبول كلٌّ من عضلات الحجاب الحاجز وعضلات البطن.

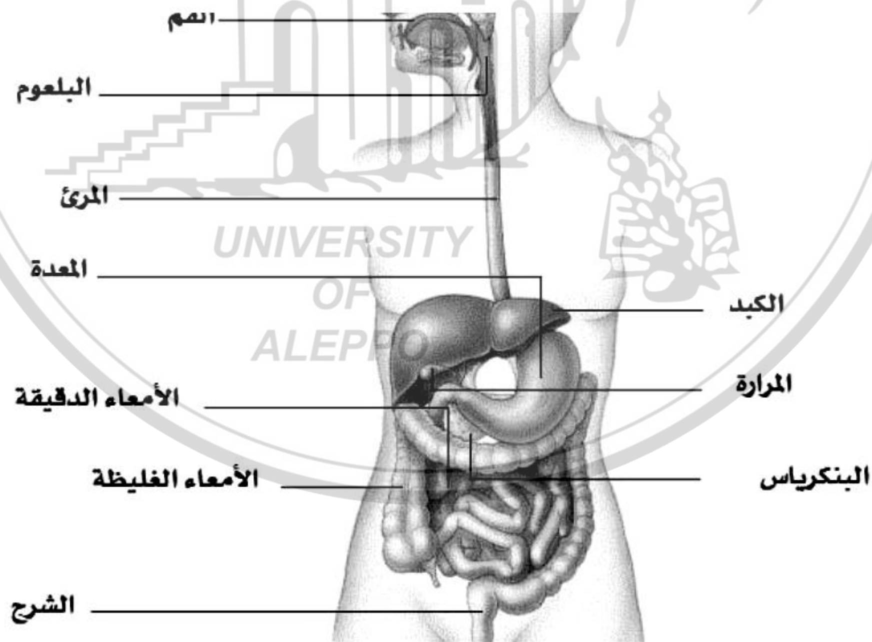
الفصل الخامس
فيزيولوجيا الهضم
Digestive Physiology

1- نبذه عن الجهاز الهضمي:

يقسم جهاز الهضم إلى عدة أقسام لكل منها وظيفته الخاصة، فبعضها يمرر الطعام مثل المريء وبعضها يخزن الطعام مثل المعدة وأخر مخصص لهضم وامتصاص الطعام مثل المعي الدقيق.

يتألف جهاز الهضم من القناة الهضمية (التجويف الفموي - البلعوم- المريء- المعدة- الأمعاء الدقيقة (العفج والصائم واللفائفي) والأمعاء الغليظة (الأعور والكولونات والمستقيم والقناة الشرجية). تتصل معظم أجزاء القناة الهضمية فيما بينها بمناطق تدعى المصرات.

إضافة إلى ذلك يلحق بجهاز الهضم مجموعة من الغدد الملحقة (الغدد اللعابية Salivary Glands، والكبد liver والبنكرياس Pancreas)، (الشكل رقم43).



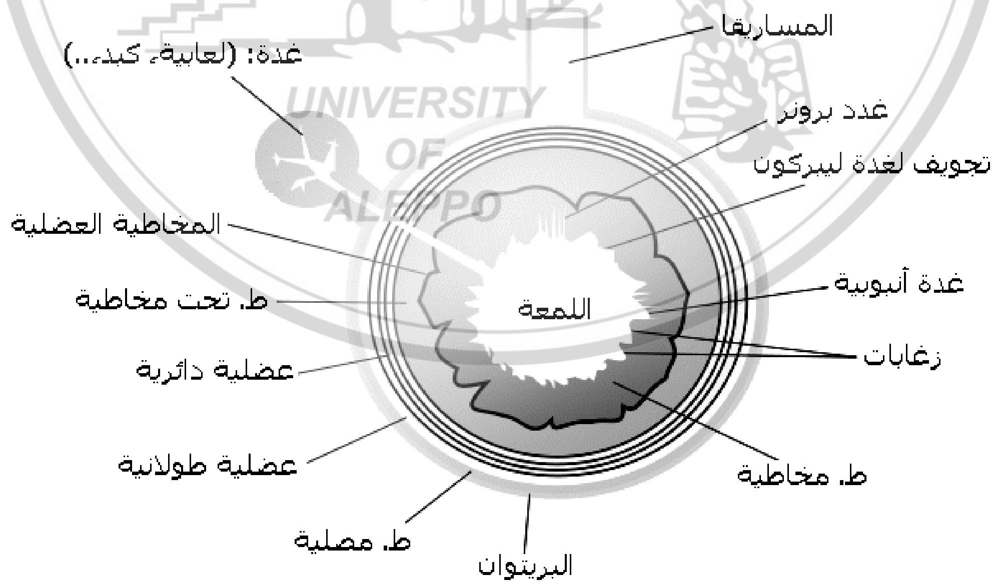
الشكل رقم (43): الجهاز الهضمي عند الإنسان

تتمثل الوظيفة الأساسية لجهاز الهضم في استقبال الطعام ودفعه ضمن القناة الهضمية بفعل العضلات الملساء وخلال مروره في القناة الهضمية تتم عملية هضم

الطعام بمعالجة ميكانيكية وكيميائية من أجل تحويل المركبات المعقدة إلى مركبات بسيطة تسهل عملية امتصاصها وتمثيلها من قبل خلايا الجسم.

ينتقل الطعام المسحوق والمرطب باللعاب من الفم عبر البلعوم والمري إلى المعدة حيث يتم تخزينه لفترة من الوقت يتعرض خلالها لعمليات هضم جزئي وبعد ذلك ينتقل الطعام إلى المعي الدقيق (العفج – الصائم – اللفائفي) حيث يخضع هناك إلى عمليات هضم نهائي وذلك بمساعدة كلٍّ من العصارة البنكرياسية والعصارة الصفراوية والعصارة المعوية من جهة، ولعملية امتصاص للمواد الغذائية المهضومة التي تنتقل إلى الدم، وعن طريقه إلى أعضاء الجسم المختلفة. أما الفضلات فتنتقل إلى المعي الغليظ (أعور– كولون صاعد – كولون مستعرض – كولون نازل – كولون سيني) على شكل كتل برازيه تخزن في المستقيم ليتم طرحها إلى الخارج بعملية التغوط. إضافة إلى ذلك تتم في الأمعاء عمليات امتصاص الماء والشوارد وتصنيع بعض الفيتامينات مثل فيتامين (B12 -K- E) من قبل البكتريا المتعايشة فيه.

على الرغم من الاختلافات المورفولوجية (الشكلية) بين الأجزاء المختلفة لجهاز الهضم إلا أن جدار القناة الهضمية يأخذ البنية نفسها تقريباً على طول امتدادها مع بعض الخلافات. ويتكون جدار القناة الهضمية من الطبقات التالية، (الشكل رقم 44).



الشكل رقم (44): بنية جدار القناة الهضمية عند الإنسان

أ- الطبقة المصلية (البرتوان): وهي الطبقة الخارجية التي تغطي القناة الهضمية وتشكل ثنايا مختلفة (مساريقا – ثرب – أربطة)، وظيفتها ربط القناة الهضمية بأجزاء الجسم المجاورة وذلك من أجل الدعم والتثبيت.

ب-الطبقة العضلية: وهي الطبقة المتوسطة، إما أن تكون:

1- عضلات مخططة إرادية: توجد في الفم والبلعوم والقسم العلوي من المري والمصرة الشرجية.

2- عضلات ملساء: توجد في الأقسام المتبقية من القناة الهضمية، وتنتظم في طبقتين:

أ- طبقة داخلية دائرية: تتوضع الألياف العضلية الملساء بشكل دائري، وظيفتها تأمين الحركات المزجية التي تعمل على مزج الطعام مع العصارات الهاضمة من جهة، وتأمين التماس الجيد بين الكيموس ومخاطية الأمعاء لتامين امتصاص جيد للمواد الغذائية على طول القناة الهضمية من جهة ثانية.

ب- طبقة خارجية طولية: تتوضع الألياف العضلية الملساء بشكل طولاني، وظيفتها تأمين الحركات الدفعية (التقلصية) التي تدفع الكيموس باتجاه منطقة المستقيم.

إضافة إلى ذلك تعصب القناة الهضمية بجملة عصبية ذاتية تدعى الجملة العصبية المعوية التي تنتشر على طول القناة الهضمية بدءاً من المريء وانتهاءً بالشرج. وتتألف الجملة العصبية المعوية بشكل رئيسي من ضفيرتين :

1- الضفيرة الخارجية: وتدعى بالضفيرة العضلية المعوية Myenteric Plexus أو ضفيرة أورباخ، وتتوضع بين الطبقة العضلية الطولية وبين الطبقة العضلية الدائرية، وظيفتها الأساسية أنها المسؤولة عن تنظيم الحركات في القناة الهضمية.

2- الضفيرة الداخلية: وتدعى الضفيرة العصبية تحت مخاطية Sup mucosal Plexus أو ضفيرة مايسنر، وتتوضع بين الطبقة العضلية الدائرية والطبقة تحت المخاطية، وظيفتها الأساسية حث الخلايا الغدية على إفراز العصارات الهاضمة وتنظيم الجريان الدموي الموضعي.

ج- الطبقة تحت المخاطية وهي عبارة عن نسيج ضام.

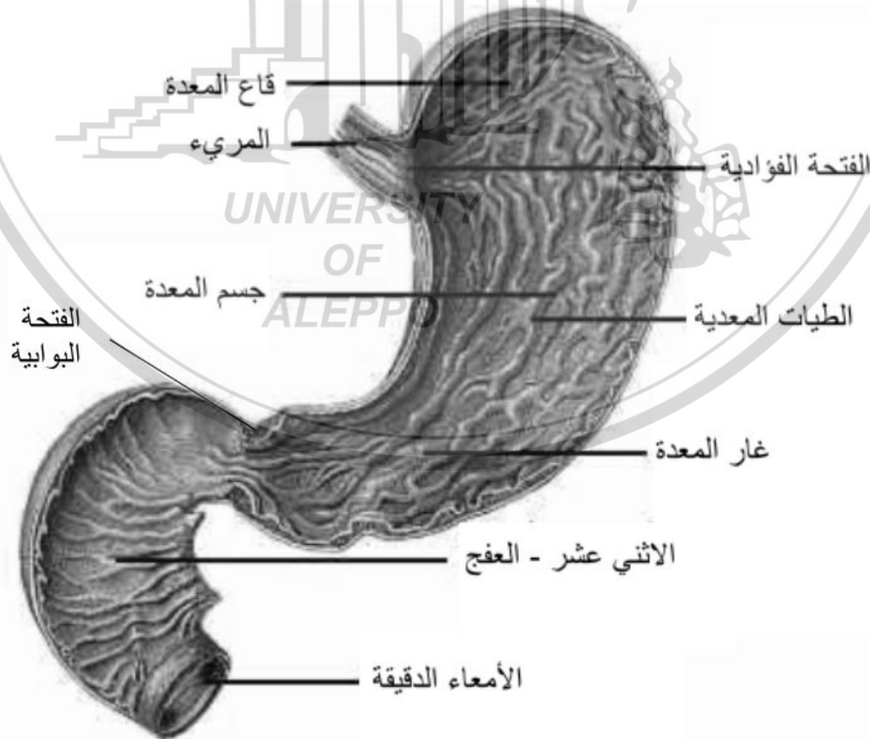
د- الطبقة المخاطية: وهي الطبقة التي تبطن تجويف القناة الهضمية وتكثر فيها الغدد المفرزة، كما تتصف بأن سطحها حاوي على عدد كبير من الزغب المسؤولة عن امتصاص غالبية المواد الغذائية.

2- أقسام جهاز الهضم عند الإنسان:

أ- التجويف الفموي Ducal cavity: يشتمل التجويف الفموي على الفكين والأسنان واللسان، وتلعب هذه الأجزاء دوراً أساسياً في تمزيق الطعام ومضغه وخلطه باللعاب وبلعه والمساعدة على تذوق الطعام والإحساس بالحرارة والنطق وإخراج الحروف.

ب-البلعوم Pharynx: وهو عبارة عن أنبوبة عضلية مخططة تقوم بوصل التجويف الفموي بالمريء من جهة، والتجويف الأنفي من جهة أخرى. والبلعوم هو ممر مشترك للغذاء والهواء، وليست له أية وظيفة هضمية.

ج-المريء Esophagus: وهو عبارة عن أنبوبة عضلية قسمها العلوي يتألف من عضلات مخططة والقسم السفلي من عضلات ملساء، طولها بحدود (25) سم تصل البلعوم بالمعدة بوساطة فتحة الفؤاد.



الشكل رقم (45): المعدة عند الإنسان

د- المعدة Stomach: عبارة عن جوف عضلي تأخذ شكل (J) سعتها (1-2) ليتر وهي تعمل كمستودع لاستقبال الطعام وخلطه ومزجه بالعصارات الهاضمة التي تفرزها غدد خاصة في جدار المعدة. وتقسم المعدة من الناحية التشريحية إلى أربعة أجزاء، (الشكل رقم 45):

1- الفؤاد Cardio: و يشكل من الناحية الفيزيولوجية مصرة تمنع عودة الطعام من المعدة إلى المري وتكون منقبضة في الحالة الطبيعية بتأثير المعدين Gastrin.

2- القاع Fundus: ذلك الجزء المملوء بالغازات، تنشأ في سويته حركات دفع قوية تدعم الحركات الدفعية الأولية وذلك من أجل فتح المصرة البوابية وإخراج الطعام إلى العفج.

3- الجسم Body: يتصل الجسم بالبواب عبر منطقة تدعى الغار التي تحتوي على خلايا من النوع (G) المفرزة لهرمون المعدين.

4- البواب Pylori: يتميز بثخن طبقة العضلات الدائرية مما يشكل مصرة تمنع خروج الطعام من المعدة إلى العفج.

أما من الناحية النسيجية فتتألف المعدة، (الشكل رقم 46) من:

1- الطبقة المصلية.

2- الطبقة العضلية: وتحتوي على طبقة مؤلفة من ثلاثة أنواع من العضلات الملساء: دائرية وطولية ومائلة.

3- تحت المخاطية.

4- الطبقة المخاطية: وتحتوي على ما يقارب (40) مليون غدة أنبوبية تتوزع في كامل جدار المعدة، ويمكن التمييز بين نوعين منها:

أ- الغدد المعدية Gastric Glands: تشكل هذه الغدد قرابة 80% من حجم المعدة وتتوضع في منطقة القاع والجسم، وتحتوي هذه الغدد على ثلاثة أنواع من الخلايا هي:

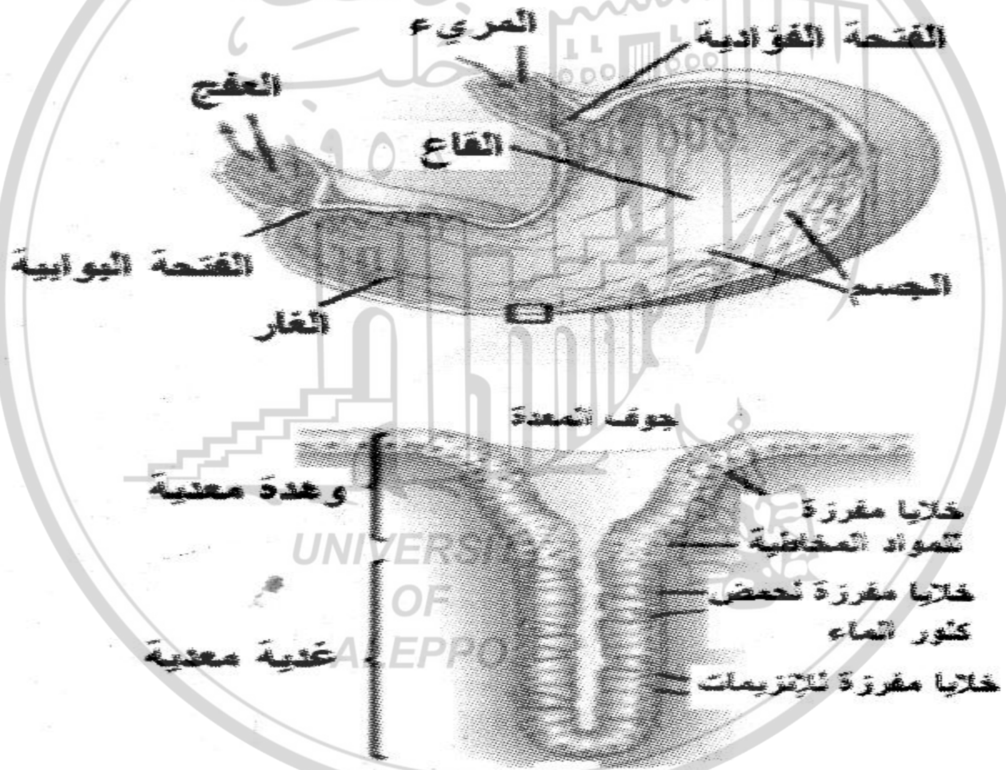
1- الخلايا الجدارية Parietal Cells: تفرز حمض كلور الماء(HCl) بالإضافة إلى العامل الداخلي Intrinsic Factorالذي يساهم في حماية الفيتامين B_{12} ريثما يتم

امتصاصه في مستوى اللفائفي وتخزينه في الكبد أو نقله إلى نقي العظم ليشارك في تكوين الكريات الحمر.

2- الخلايا الأساسية Chief Cells: وتفرز مولد الببسين Pepsinogen.

ب- الخلايا المخاطية: تفرز الخلايا المخاطية المخاط الذي يشكل طبقة تقوم بحماية جدار المعدة من الحموضة العالية للعصارة المعدية بسبب احتوائه على البيكربونات.

كما تفرز معدة الأطفال أنزيماً آخر مسؤولاً عن تخثر الحليب يدعى الرينين Rennin. وبفضل هذه الخاصة يقلل معدل جريان الحليب من المعدة إلى الأمعاء مما يفسح المجال لأنزيم الببسين أن يقوم بعمله في الهضم الجزئي لبروتيناته.



الشكل (46) تخطيط لبنية جدار المعدة والغدد الملحقة بها

هـ . الأمعاء الدقيقة Small Intestine:

يبلغ طول المعي الدقيق في الإنسان بحدود (5-7) م، ويتكون من العفج والصائم واللفائفي.

1- العفج Duodenum: يأخذ شكل حرف C ويبلغ طوله (12) سم. يحتوي جدار العفج على العديد من الغدد المعوية، ففي السنتيمترات الأولى يوجد نوعين من الخلايا المفرزة.

- خلايا مفرزة للإفرازين Secretin الذي يحث على إفراز البيكربونات من البنكرياس ويثبط إفراز المعدين من خلايا G في المعدة.
- وخلايا مفرزة للكولي سيستوكينين – بانكريوزايمين Cholecystokinin-Pancrezymine، الذي يقوم بدور مزدوج، حثه للحويصل الصفراوي على الانقباض وتحرير محتوياته في القناة الصفراوية التي تصب في العفج، وحثه للبانكرياس على إفراز العصارة البنكرياسية الغنية بالخمائرالتي تصب في العفج.

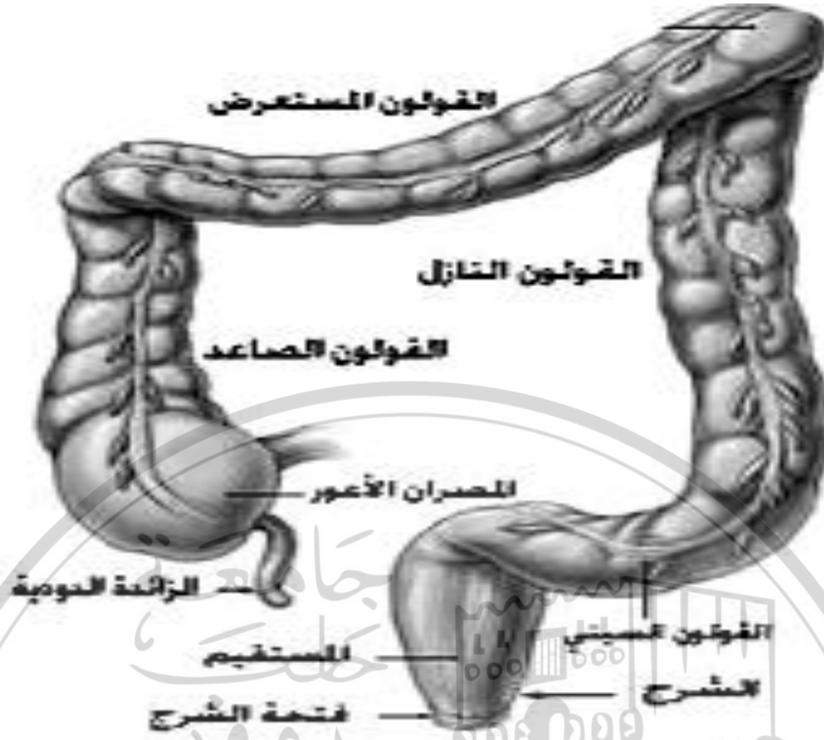
إضافة إلى ذلك يوجد في جدار العفج غدد برونر Brunner's Glands التي تقوم بإفراز مواد مخاطية وظيفتها حماية جدار المعدة من تأثير الكيموس الحامضي، وغدد ليبركون Liberkuen Glands التي تكون معظم مفرزاتها أنزيمات تساعد على اتمام عمليات هضم البروتينات والدهون والسكريات إضافة إلى إفرازها للماء والأملاح المعدنية.

2- الصائم Jejunum واللفائفي Ileum: يشغلان الجزء الأوسط والسفلي من تجويف البطن ولا توجد حدود فاصلة بين الصائم واللفائفي.

وفي سوية هذا الجزء من الأمعاء الدقيقة تستكمل عمليات هضم المواد العضوية وانتقال المواد المهضومة من سوية الأمعاء إلى الدم أو اللمف.

د- الأمعاء الغليظة Large Intestine: ينتهي المعي الدقيق بالمعي الغليظ عند المصرة اللفائفية الأعورية. ويبلغ طول المعي الغليظ بحدود (1.3) م، ويشمل كلاً من: الأعور والكولونات والمستقيم. وتتمثل وظيفة هذا المعي في تخزين الكتل البرازية في قسمه القاصي(البعيد)، إلى حين طرحها عبر الشرج، (الشكل رقم 47).

إضافة إلى ذلك يقوم القسم الداني (القريب) من المعي الغليظ بامتصاص معظم ما تبقى من الماء والأملاح المعدنية من الكيموس وامتصاص الفيتامينات المصنعة من قبل البكتريا المتعايشة الموجودة في الكولونات (B12 -K- E)، حيث يتم امتصاص ما يقارب 90% من السائل القادم من الأمعاء الدقيقة.



الشكل رقم (47): الأمعاء الغليظة عند الإنسان

3- **وظائف جهاز الهضم:**

أ- تحريك ومزج الطعام في القناة الهضمية.

ب- إفراز العصارات الهاضمة.

ج- هضم الطعام.

د- امتصاص الطعام.

هـ- التخلص من الفضلات عن طريق ألية التغوط.

4- الحركات في جهاز الهضم:

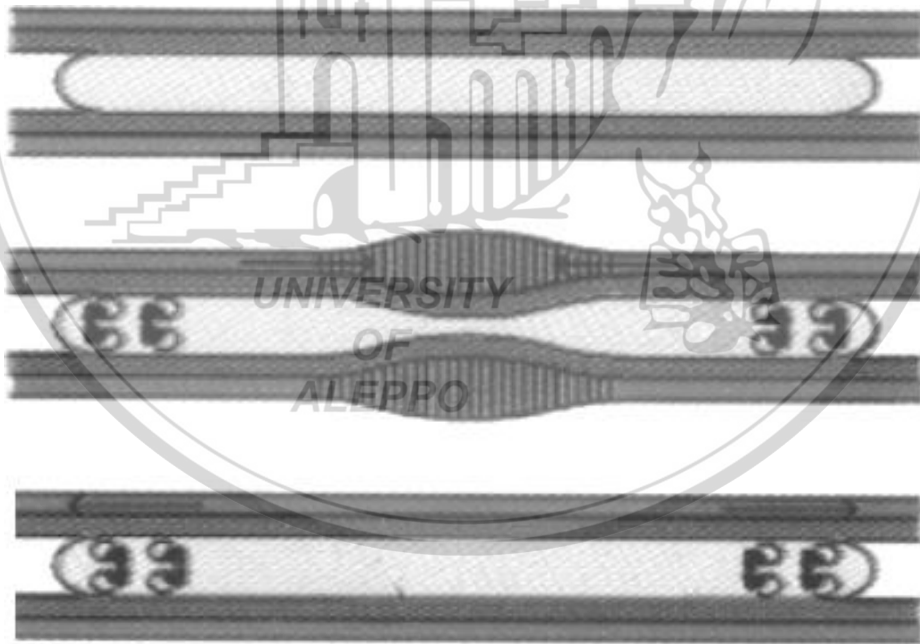
يحدث في جهاز الهضم نوعان من الحركات:

أ- الحركة التقلصية أو التمعجية Peristaltic Movement: تعمل هذه الحركات إلى تحريك الطعام عبر القناة الهضمية عن طريق الحركة التمعجية التي تنجم عن تقلص العضلات الدائرية والطولية في ذات المنطقة لتقدم القوة الكافية لدفع محتوى القناة الهضمية نحو الأمام بمعدل (1) سم /ثا، (الشكل رقم 48).



الشكل رقم (48): الحركة التمعجية في الأمعاء

ب- الحركة النواسية pendular Movement: تهدف هذه الحركة إلى مزج الطعام مع بعضه البعض من جهة، ومع العصارة الهضمية من جهة أخرى. وتنجم الحركة النواسية عن تقلص وارتخاء العضلات الطولية لجدار القناة الهضمية، (الشكل رقم 49).

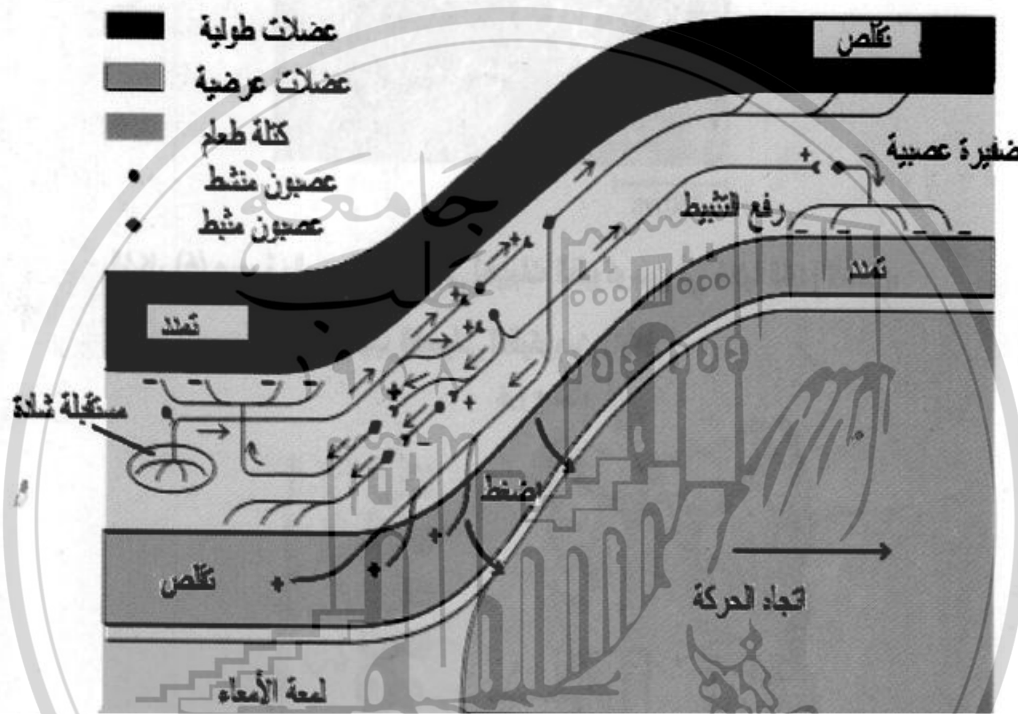




عضلات طولية
عضلات دائرية
مستحلب الكيموس قبل امتصاصه
تقلص عضلي

الشكل (49): الحركة النواسية في الأمعاء

ويعتمد في تنظيم هذه الحركات على منعكسات محلية ناجمة عن فعالية الضفيرة العضلية العصبية (ضفيرة أورباخ) التي تعمل على تقلص ألياف العضلات الطولية وتمدد العضلات الدائرية الموجودة أمام كتلة الطعام المندفعة نحو الأمام. وتعمل هذه المنعكسات في الوقت ذاته على تثبيط تقلص ألياف العضلات الطولية وتقلص ألياف العضلات الدائرية الواقعة خلف كتلة الطعام المندفعة إلى الأمام، (الشكل رقم 50).



الشكل رقم (50): آلية تشكيل الحركات التمعجية في الأمعاء

5- وظائف المعدة:

أ- تخزين كميات كبيرة من الطعام وخاصة القسم العلوي للمعدة حيث تملك قدرة استيعاب كبيرة وذلك من خلال المنعكس المبهمي الذي ينقص من توتر جدار المعدة واتساع جوفها، الأمر الذي يسمح باستيعاب المزيد من الطعام حتى (1.5 لتر).

ب-تفتيت المواد الطعامية ومزجها بالمفرزات المعدية إلى أن يتشكل مزيج نصف سائلي يدعى الكيموس. ويقوم بهذه الوظيفة بشكل أساسي القسم السفلي من المعدة.

ج- هضم جزئي للبروتينات.

د- إفراغ محتوياتها من الطعام باتجاه العفج.

6- مفرزات غدد القناة الهضمية:

تفرز الغدد التي توجد في القناة الهضمية مواد كيميائية تختلط بالطعام وتهضمه، ويمكن تقسيم الإفرازات الهضمية إلى نوعين:

أ- المخاط: مادة كيميائية تحتوي على كمية كبيرة من البروتين المخاطي الذي يكون مقاوماً للعصارة الهضمية. ونظرا لأهمية المخاط الوظيفية بأنه يسهل مرور الطعام ومخفض لدرجة الحموضة يفرز من كل أجزاء القناة الهضمية.

ب- الخمائر: التي تساعد في تحطيم المركبات الكيميائية المعقدة إلى مركبات بسيطة يسهل امتصاصها، ونذكر منها :

1- العصارة المعدية: عبارة عن مادة سائلة حامضية التفاعل، عديمة اللون وتقدر كميتها بحوالي 3 لتر يومياً وتحتوي على:

أ- الماء الذي يشكل نسبة 90%، ينحل فيه عدد من الأملاح المعدنية والمواد العضوية وحمض كلور الماء.

ب- الأملاح المعدنية: كلور (الصوديوم - البوتاسيوم - الكالسيوم - المغنيزيوم) وفوسفات الكالسيوم وبيكربونات وشوارد الكلور.

ج- حمض كلور الماء HCl: يؤمن حمض كلور الماء الذي تفرزه الخلايا الجدارية وسطاً حامضياً للعصارة المعدية، تتراوح درجة حموضته بين (1.8-4) وهذا الوسط ملائم لوقف نشاط الجراثيم المرافقة للطعام ومناسب لعمل أنزيم البيسين Pepsin الذي تنتجه وتفرزه الخلايا الرئيسية على شكل مولد البيسين Pepsinogen غير الفعال. ينشط مولد البيسين ويتحول إلى بيسين فعال حالما يصبح على تماس مع حمض كلور الماء.

د- الببسين: يعمل الببسين في المعدة على تحطيم روابط ببتيدية معينة من الروابط الممتدة على طول السلسلة الببتيدية لجزيء البروتين محولاً إياه إلى ببتيدات متعددة Polypeptides على أن يستكمل هضمها فيما بعد ضمن الأمعاء الدقيقة.

هـ . المخاط: ويلعب دوراً مهماً في الحفاظ على سلامة الطبقة الظهارية للمعدة وذلك بحمايتها من تأثير السوائل الخارجية الضارة.

و- العامل الداخلي: هو بروتين سكري تفرزه الخلايا الجدارية، وظيفته ربط فيتامين B_{12} وحمايته من التأثير الهاضم للأنزيمات المعدية – المعوية، وتيسير امتصاصه في اللفائفي. لذلك فإن توقف إفراز العامل الداخلي في بعض الحالات المرضية يترافق مع فقر دم بسبب العوز لفيتامين B_{12} الناجم عن فشل امتصاصه من جهة، وتخريبه بفعل الأنزيمات المختلفة من جهة أخرى.

2- العصارة المعوية: يفرز العصارة المعوية كل من غدد برونر Brunner's Glands المتوضعة في السنتيمترات القليلة الأولى من المعي الدقيق، وغدد ليبركون Liberkuen Glands المنتشرة في جميع أرجاء مخاطية الأمعاء باستثناء تلك المنطقة من العفج التي توجد فيها غدد برونر.

وتقدر كمية العصارة المعدية المتشكلة في اليوم (3) ليتر، والتي يتم إفرازها بشكل رئيسي من قبل الخلايا الظهارية لغدد ليبركون. ولدى إجراء تثفيل لهذه العصارة تبين أنها مؤلفة من محلول مائي ذي تفاعل قلوي ضعيف يحتوي عدداً من أملاح البيكربونات والفوسفات والكلور ومواد مخاطية، ولا يمتلك هذا السائل فعالية أنزيمية. أما القسم الكثيف فيمتلك الأنزيمات المعوية التي يتم اصطناعها داخل الخلايا الظهارية وتكون ممتزة على الحافة الفرجونية لهذه الخلايا. وترتبط هذه الأنزيمات بشكل وثيق بالغشاء الخلوي وتكون مسؤولة عن الهضم الغشائي، لتؤمن المرحلة النهائية من تفكك المواد الغذائية وتحفيزها للمرحلة التالية وهي الامتصاص.

وينتمي إلى الأنزيمات المعوية بالإضافة إلى الببتيداز والسكراز والمالتاز واللاكتاز، كميات قليلة من الليباز المعوي والفوسفاتاز القلوية وهرمون الأنتروكيناز التي ينشط عملية تحويل مولد التربسين إلى تربسين فعال. تهاجم أنزيمات الببتيداز الروابط الببتيدية وتحولها إلى حموض أمينية، بينما يقوم المالتاز بتحويل المالتوز إلى جزئين غلوكوز، والسكراز يحول السكروز إلى غلوكوز وفركتوز، واللاكتاز يحول اللاكتوز إلى غلوكوز وغالكتوز. أما أنزيم الفوسفاتاز القلوي فيقوم بفصل زمرة الفوسفات من بعض المركبات العضوية الفوسفورية، وأنزيم الليباز الذي يحول المواد الدسمة إلى حموض دسمة وغليسرول.

7- مراحل الهضم:

يتم الهضم عند الإنسان على عدة مراحل وفي سويات مختلفة من القناة الهضمية وهي:

أ – الهضم الفموي. ب – الهضم المعدي.   ج – الهضم المعوي.

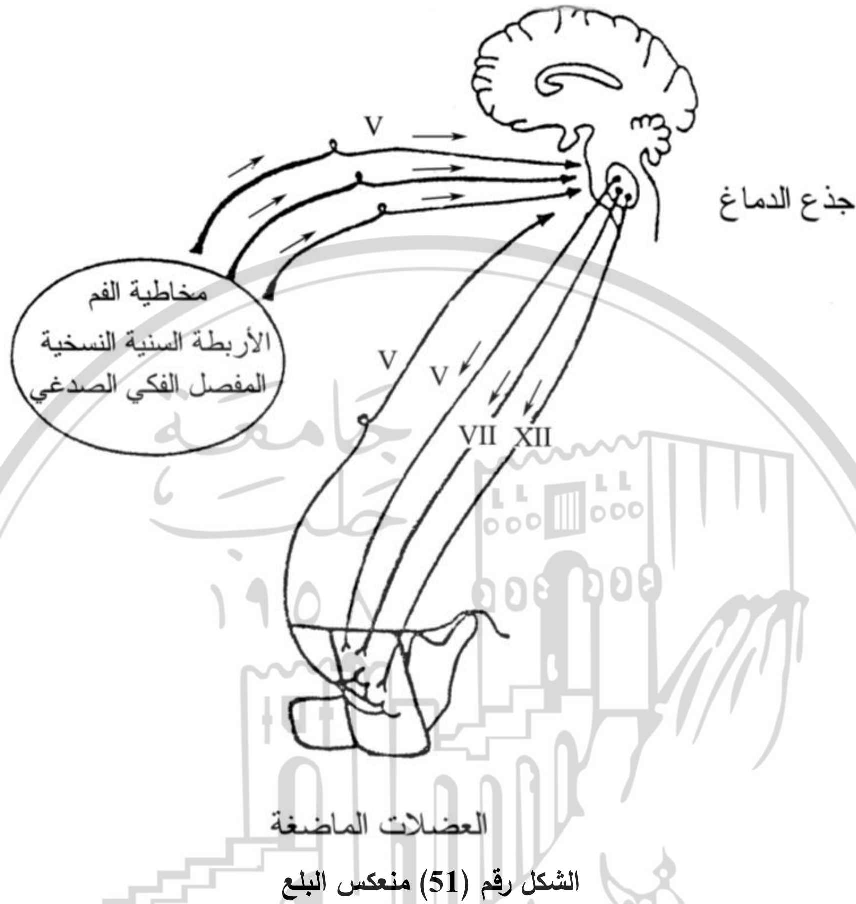
أ- الهضم الفموي:

يتضمن الهضم الفموي المعالجة الميكانيكية والكيميائية الأولية للطعام والتي تؤدي إلى تقطيعه وترطيبه باللعاب ومن ثم تحليل مواصفاته الذوقية، إضافة إلى الحلمهة الأولية لبعض مكوناته وتشكيل اللقمة الغذائية. وبغض النظر عن الفترة القصيرة لوجود الطعام في الفم (15-18 ثانية)، فإن الهضم الفموي يؤثر في جميع المراحل التالية لمعالجة اللقمة الغذائية عن طريق سلسلة من الأفعال الانعكاسية التي تحث النشاط الإفرازي والحركي لمختلف أجزاء القناة الهضمية، إضافة إلى استهلال عمليات المضغ والبلع.

1 – المضغ Mastication :

هو عملية انعكاسية غير إرادية في الحالة الطبيعية يقع مركزها في جذع الدماغ، وتخضع بدورها إلى سيطرة المراكز الدماغية العليا ولاسيما القشرة المخية. وتؤمن هذه العملية تفتيت الطعام ومزجه باللعاب ومن ثم تشكيل اللقمة الغذائية بنتيجة التنسيق الدقيق لكل من حركات العضلات الماضغة المسببة لحركة الفك السفلي في الاتجاهين العمودي والأفقي، وحركات اللسان والشفتين والخدين. فوجود الطعام في الفم يؤدي إلى تنبيه المستقبلات الحسية في مخاطية الفم وفي الأربطة السنخية والمفصل الفكي الصدغي وانتقال السيالات العصبية عن طريق العصب القحفي الخامس (مثلث التوائم) إلى جذع الدماغ، حيث تصدر الدفعات العصبية عبر الأعصاب القحفية : العصب الخامس (مثلث التوائم) والعصب السابع (الوجهي) والعصب الثاني عشر(تحت اللساني) التي تؤدي إلى تقلص عضلات اللسان والخدين وتثبط العضلات الماضغة، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الفك السفلي، ومن جهة أخرى تمدد العضلات الخافضة للفك السفلي يؤدي بدوره إلى تنبيه مستقبلات الحس العضلي (المغزل العضلي) واصدار دفعات عصبية ترسل إلى مركز البلع حيث تصدر عنها دفعات عصبية محركة تعمل على تقلص العضلات

الماضغة وإغلاق الفم (رفع الفك السفلي). وهكذا تتكرر بشكل متناوب كل من عملية الإطباق وهبوط الفك السفلي، (الشكل رقم 51).



الشكل رقم (51) منعكس البلع

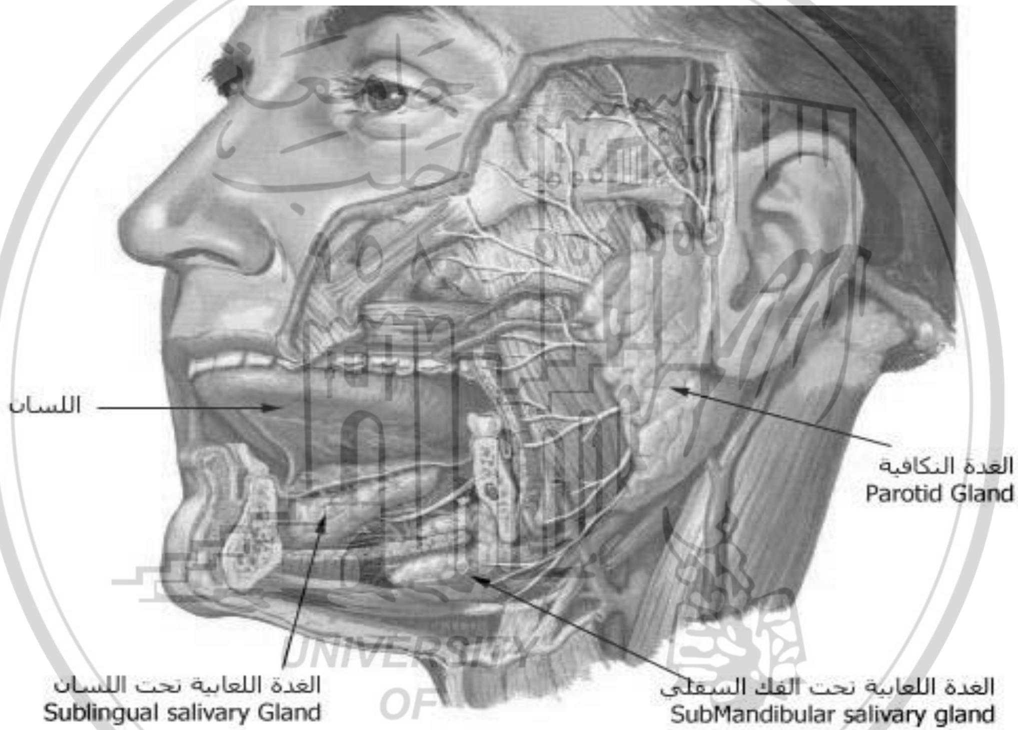
2 – اللعاب Saliva:

اللعاب سائل شفاف، قلوي التفاعل (pH = 7.6)، يحتوي على (98.5% إلى 99%) ماء ومن (1− 1.5 %) مركبات عضوية ولا عضوية. تضم المركبات العضوية مادة لزجة تدعى المخاطين Mucin وأنزيمات مختلفة وبشكل خاص (ألفا أميلاز). كما يحتوي اللعاب على أنزيمات حالة تفيد بالقضاء على الجراثيم من خلال تفكيك الروابط الغليكوزيدية في السكريات المتعددة التي تتألف منها أغلفة البكتيريا مما يساعد في تطهير الفم وفي سرعة التئام جروح الفم واللسان.

يفرز اللعاب ثلاثة أشفاع من الغدد اللعابية تتفتح قنواتها في التجويف الفموي. وهي الغدتان النكفيتان Parotid Glands والغدتان تحت اللسان Sublingual Salivary Glands والغدتان تحت الفك السفلي Submandibular Salivary Glands بالإضافة

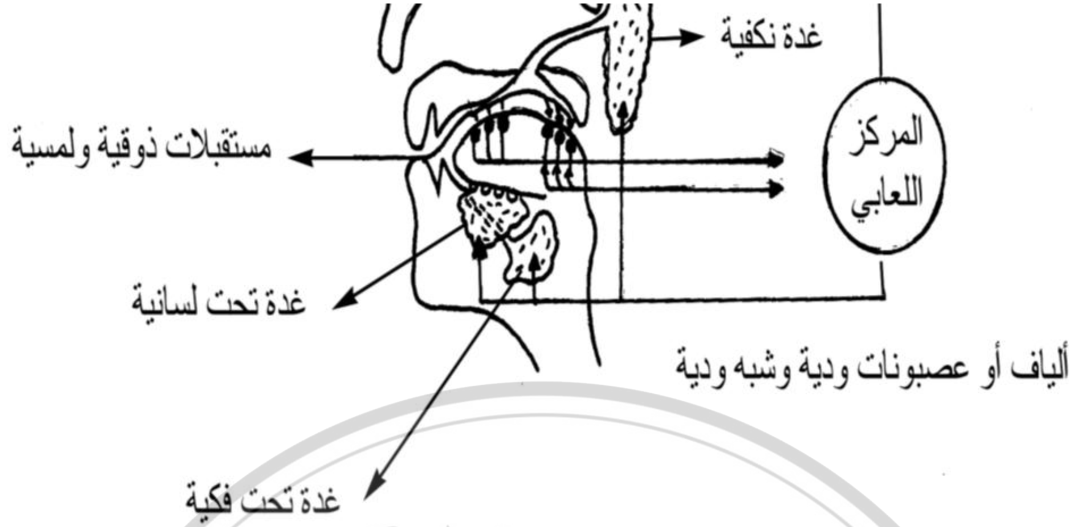
إلى العديد من الغدد اللعابية الصغيرة الموجودة على سطح اللسان والغشاء المخاطي للفم والتي تسمى الغدد الجدارية، (الشكل رقم 52).

تقوم الغدتان النكفيتان والغدد الجدارية المتوضعة على جانبي اللسان بإفراز عصارة مصلية غنية بـ ألفا أميلاز وفقيرة بالمخاط، في حين تفرز الغدد اللعابية الموجودة في قاعدة اللسان وسقف الفم مواد غنية بالمخاط. أما الغدتان تحت اللسان وتحت الفك والغدد الجدارية الموجودة في قمة اللسان والشفاه فلقد تخصصت بإفراز عصارة مصلية مخاطية غنية بـ ألفا أميلاز وغنية بالمخاط.



الشكل رقم (52): الغدد اللعابية

أما بالنسبة لتنظيم إفراز اللعاب فيتم انعكاسياً. تنتقل الدفعات العصبية الناتجة عن تنبيه الأطعمة للمستقبلات الذوقية واللمسية الموجودة في الغشاء المخاطي الفموي، على طول فروع العصب الوجهي والعصب البلعومي اللساني إلى البصلة السيسائية حيث مركز إفراز اللعاب (النواتين اللعابيتين العلوية والسفلية). تنبيه هذا المركز يسبب في اصدار دفعات عصبية حركية ذاتية تنقلها الألياف نظيرة الودية للعصب المبهم إلى الغدد اللعابية وتحثها على إفراز اللعاب ، (الشكل رقم 53).



الشكل رقم (53): مخطط يوضح التنظيم العصبي لإفراز اللعاب في الإنسان

كما أن للجملة الذاتية تأثيراً في كميات اللعاب المفرزة، فمثلاً تنبيه الألياف الودية يضيق الأوعية الدموية المغذية للغدد اللعابية وبذلك تفرز تلك الغدد كمية قليلة من اللعاب تكون غنية بالمواد العضوية، بينما تنبيه الألياف نظيرة الودية يؤدي إلى توسيع الأوعية الدموية وازدياد الجريان الدموي في الغدد اللعابية، الأمر الذي يؤدي إلى إفراز كمية كبيرة من اللعاب فقيرة بالمواد العضوية.

3- البلع Swallowing :

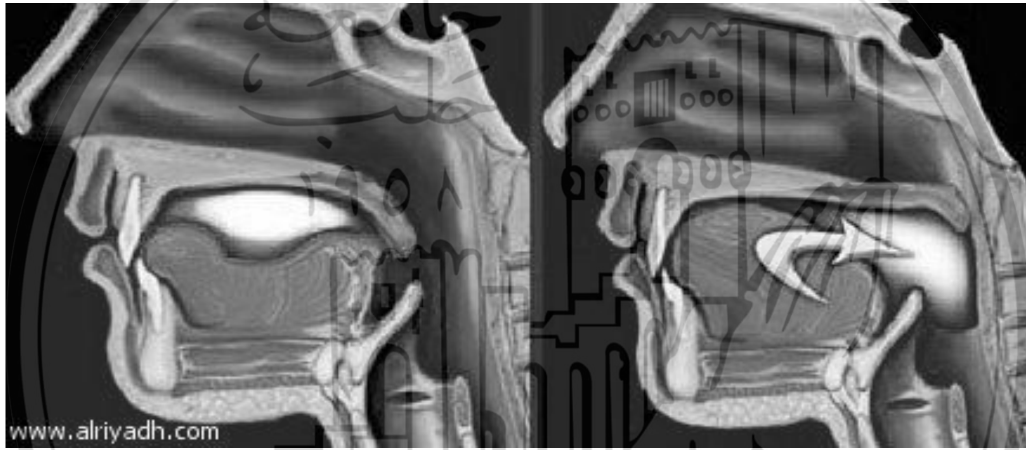
البلع عبارة عن فعل انعكاسي يتوضع مركزه في البصلة السيسائية، (الشكل رقم 54). عندما تصبح لقمة الطعام على شكل بلعة طعاميه تضغط على ظهر اللسان الذي يدفعها إرادياً بارتفاعه للأعلى والخلف فتصبح اللقمة على مشارف البلعوم. وخلال هذا الفعل تتنبه المستقبلات اللمسية المتوضعة حول مدخل البلعوم، مما يولد مجموعة من الدفعات العصبية تنقلها الألياف الحسية للأعصاب القحفية التالية: العصب الخامس (مثلث التوائم) والعصب التاسع (البلعومي اللساني) والعصب العاشر (المبهم) إلى مركز البلع، فتتولد مجموعة من ردود الأفعال الانعكاسية تعرف بمنعكسات البلع. تتمثل هذه المنعكسات برفع اللهاة(الحنك الرخو) نحو الأعلى لإغلاق المنخرين الخلفيين وذلك لمنع دخول الطعام إلى تجويف الأنف، ثم رفع الحنجرة إلى الأعلى والأمام بوساطة عضلات الرقبة وانخفاض لسان المزمار فتنغلق فتحة الحنجرة مما يحول دون مرور الطعام إلى

الرغامى. يتبع ذلك ارتخاء المصرة البلعومية المريئية من جهة (وهي السنتمترات الأربعة الأولى من الجدار العضلي للمري) مما يسمح بسهولة حركة الطعام من البلعوم إلى المري (علماً أنه في الحالة الطبيعية تكون هذه المصرة مغلقة لمنع دخول هواء التنفس إلى المري) فينتج عن ذلك اتساع في البلعوم وانخفاض الضغط بداخله فتنزلق اللقمة الغذائية على سطح لسان المزمار، ومن جهة أخرى تنقبض العضلات البلعومية بسبب ضغط اللقمة وإثارة الضفيرة العضلية المعوية فتحدث تقلصات على شكل موجة تمعجية سريعة وظيفتها دفع الطعام من البلعوم إلى المريء. وبمجرد وصول الطعام إلى المريء يندفع إلى المعدة بفضل نمطين من الحركات التمعجية Peristaltic، التمعج الأولي والتمعج الثانوي. التمعج الأولي هو ببساطة استمرار لموجة التمعج التي تبدأ في البلعوم وتنتشر إلى المريء في أثناء الطور البلعومي من البلع. وتسير هذه الموجة بشكل مستمر من البلعوم إلى المعدة خلال (8-10) ثا تقريباً. لكن إذا أخفقت موجة التمعج الأولي في دفع الطعام بكامله الذي وصل إلى المعدة، تنشأ موجات تمعج ثانوية نتيجة توسع المريء بالطعام المحتبس، وتستمر إلى أن يفرغ الطعام بكامله في المعدة. وتبدأ موجات التمعج الثانوية بنتيجة دارات عصبية داخلية في الجملة العصبية المعدية المريئية من جهة، ومنعكسات قادمة عبر ألياف مبهمية واردة من المريء إلى البصلة السيسائية.

ومن أجل عدم السماح بعودة الطعام من المعدة إلى المريء يوجد في القسم السفلي من المري مصرة فيزيولوجية تتميز بارتفاع الضغط فيها تدعى بالمصرة المريئية السفلية التي تكون في الحالة العادية مغلقة، ولكن عند مرور موجة التمعج المريئية نحو المعدة تسترخي هذه المصرة بالإضافة إلى ارتخاء المعدة، الأمر الذي يسمح بدفع الطعام المبتلع بسرعة نحو المعدة.

ومن العوامل التي تعمل على رفع الضغط في المصرة المريئية السفلية: المعدين، وزيادة درجة الحموضة، وتنبيه الألياف نظيرة الودية والطعام الغني بالبروتينات، بينما الكافئين، والتدخين، وتنبيه الألياف الودية والطعام الغني بالمواد الدسمة والسكريات يخفض الضغط فيها.





الشكل رقم (54): آلية البلع

ب-الهضم المعدي:

ينتقل الطعام بعد تجزئته وخلطه وترطيبه في جوف الفم عبر البلعوم والمريء إلى المعدة. يتراوح زمن بقاء الطعام في المعدة ما بين (3-10) ساعات. وتتعلق سرعة إفراغه في العفج بنوعية الطعام المتناول، فالطعام الغني بالسكريات يفرغ بسرعة أكبر من سرعة إفراغ البروتينات، أما الطعام الغني بالمواد الدسمة فيكون إفراغه بأقل سرعة ممكنة.

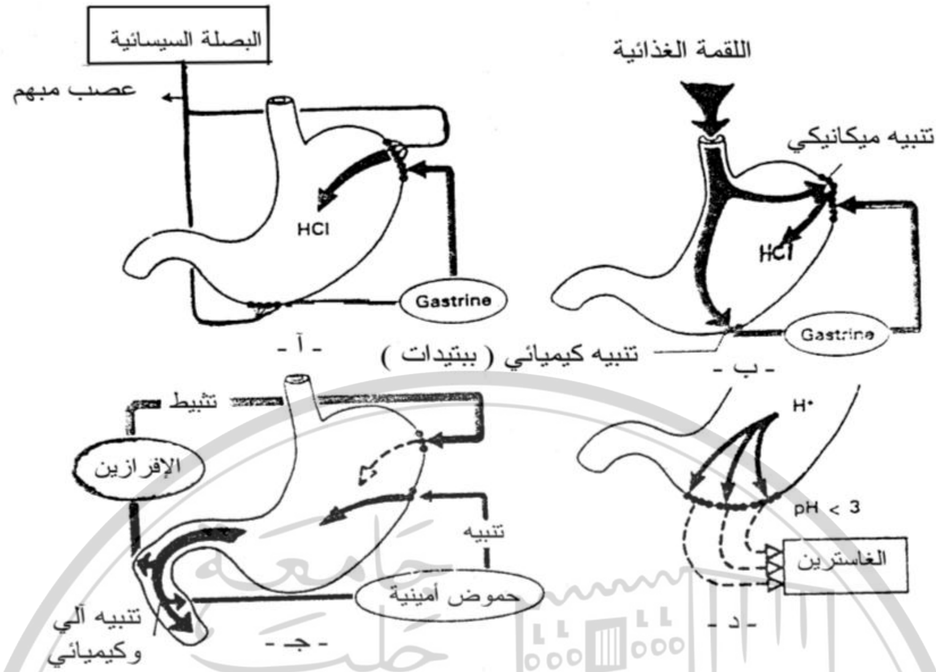
يتم تحريض خلايا المعدة على الإفراز بفعل منعكسات بسيطة وشرطية بتأثير معلومات حسية ذوقية أو شمية أو بصرية أو ميكانيكية بتأثير الطعام الذي يدخل إلى المعدة. فعند دخول الطعام إلى المعدة (ولو كمية قليلة) فإن المعدة تتوسع مما ينبه ضفيرة مايسنر و أورباخ فيتشكل منعكس موضعي (لا يخرج خارج المعدة) يؤدي هذا المنعكس

إلى تحريض الخلايا الغدية على الإفراز من جهة، وتنشيط الحركات في سوية جدار المعدة من جهة أخرى، (الشكل رقم 55).

أما التأثير الهرموني فيتم عبر هرمون المعدين Gastrin الذي تفرزه الغدد الأنبوبية الموجودة في غار المعدة بإيعازات عصبية يحملها العصب المبهم وكذلك بتأثير مباشر من الطعام الموجود في المعدة. يفرز المعدين في الدم، ولدى وصوله إلى بقية خلايا المعدة يحرضها على إفراز حمض كلور الماء الذي ينشط مولد الببسين ويحوله إلى ببسين فعال. يعمل الببسين في المعدة على تحطيم روابط ببتيدية معينة من الروابط الممتدة على طول السلسلة الببتيدية لجزيء البروتين محولاً إياه إلى ببتيدات متعددة Polypeptides يستكمل هضمها فيما بعد ضمن الأمعاء الدقيقة.

وفي الوقت نفسه تتحرك موجات تمعجية مضيقة ضعيفة نحو قاع المعدة على امتداد جدار المعدة مرة كل (20 ثانية)، وتزداد قوة كلما اتجهنا نحو غار المعدة مما يولد قوة كافية لدفع كمية قليلة من محتوى المعدة باتجاه العفج عبر فتحة البواب المغلقة بقوة، ويرتد الباقي من محتوى غار المعدة باتجاه جسم المعدة مما يساعد في مزج المفرزات مع الأقسام السطحية من الطعام المخزون وتحطيمه.

يدعى المزيج الناجم عن عملية مزج الطعام بالمفرزات المعدية والذي يتجه نحو الأمعاء بالكيموس. ويتعلق انفراغ الكيموس المعدي بشدة التقلصات التمعجية في قاع المعدة ودرجة مقاومة المعدة البوابية لهذه العملية الافراغية. ففي الأحوال العادية فإن المصرة البوابية تكون مغلقة بشكل لا يسمح بعبور الكيموس بدون مؤازرة التقلصات القاعية القوية، باستثناء الماء والسوائل التي تستطيع العبور من خلالها بسهولة. وتترافق كل موجة من التقلصات القاعية القوية بارتفاع الضغط وانخفاض درجة مقاومة البواب، مما يسمح بعبور عدة ميليمترات من الكيموس إلى العفج بآلية تشبه الضخ. وتسمى عادة هذه العملية المضخة البوابية التي يستمر عملها حتى إفراغ كامل محتوى المعدة إلى العفج. فعبور الكيموس الحامضي إلى العفج يحث مخاطيته على إفراز الإفرازين Secretin، الذي يعمل إضافة إلى دوره المقبض للمصرة البوابية مانعاً ارتداد الطعام من العفج إلى المعدة، بتثبيط إفراز المعدين المفرز من قبل الغدد الأنبوبية الموجودة في منطقة الغار.



الشكل رقم (55): تخطيط يوضح الآليات المؤثرة والمنظمة للإفرازات المعدية

ج- الهضم المعوي:

- **الهضم في الأمعاء الدقيقة:**

ينطلق الطعام من المعدة إلى العفج عبر الفوهة البوابية بفعل النشاط الانقباضي للعضلات الملساء الموجودة في جدار المعدة. وفي الأمعاء الدقيقة تستكمل جميع عمليات الهضم النهائية للمواد الغذائية وتحويلها إلى عناصر بسيط وذلك في سويتين من المعي الدقيق:

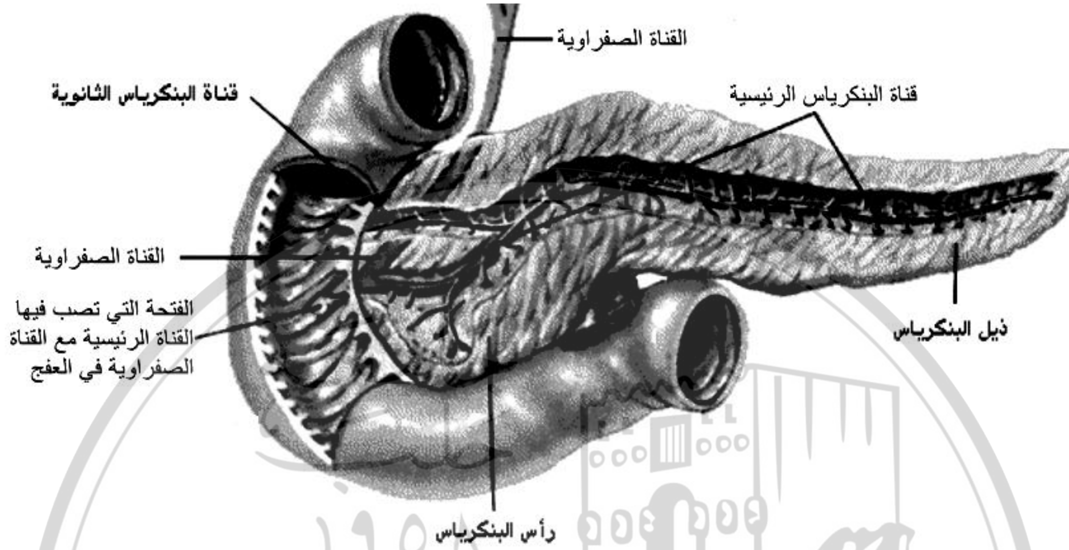
- في لمعة المعي الدقيق.
- في سوية ما يسمى بـ الحافة الفرجونية Brush Border المتشكلة من الزغابات الدقيقة Microvilli للخلايا المبطنة للمعي الدقيق.

وعند دخول الكيموس إلى العفج وبقية أجزاء المعي الدقيق فإنه يتعرض لتأثير عدة عصارات هاضمة منشأها البنكرياس والكبد والمعي الدقيق.

1- البنكرياس والعصارة البنكرياسية:

تتوضع البنكرياس خلف المعدة في عروة العفج، وهي تتكون من عدد كبير من الفصيصات التي تحتوي على خلايا غدية تفرز العصارة البنكرياسية، التي تنقل إلى العفج

عبر القناة البنكرياسية الرئيسية (ويرسنغ). ويوجد بين فصيصات البنكرياس مساحات صغيرة من نسيج غدي يعر ف بجزر لا نغرهانس Islets of Langerhans ، (الشكل رقم 56).



الشكل رقم (56): البنكرياس

جزر لا نغرهانس هي غدد صم داخلية الإفراز تنتج وتفرز نوعين من الهرمونات هما: هرمون الأنسولينInsulin. H الذي ينشط عمليات تحول الغلوكوز إلى غليكوجين، هرمون الغلوكاكون Glucagon .H الذي يحفز تحويل الغليكوجين إلى غلوكوز.

أما العصارة البنكرياسية المفرزة من فصيصات البنكرياس فتقدر بحوالي ثلاثة أرباع الليتر يومياً، تتراوح درجة حموضتها بين (7-8)، وهذه العصارة تتركب من:

أ- الأنزيمات الهاضمة وهي:

1- الأنزيمات الهاضمة للبروتينات: وتضم التربسين و الكيموتربسين التي تكون بشكل غير فعال وذلك لحماية البنكرياس. تتفعل هذه الأنزيمات عند وصولها إلى المعي بوساطة الأنتروكيناز المفرز من مخاطية المعي.

2 – الأميلاز البنكرياسي: ويقوم بحلمهة النشاء ويحوله إلى سكريات ثنائية (مالتوز).

3- الليباز البنكرياسي: ويقوم بحلمهة المواد الدسمة ويحولها إلى حموض دسمة وغليسيريدات أحادية.

4- انزيمات الريبونيكلياز التي تحطم الحموض النووية إلى نيكليوتيدات.

ب- الماء وأملاح كلور الصوديوم وبيكربونات الصوديوم وفوسفات الكالسيوم.

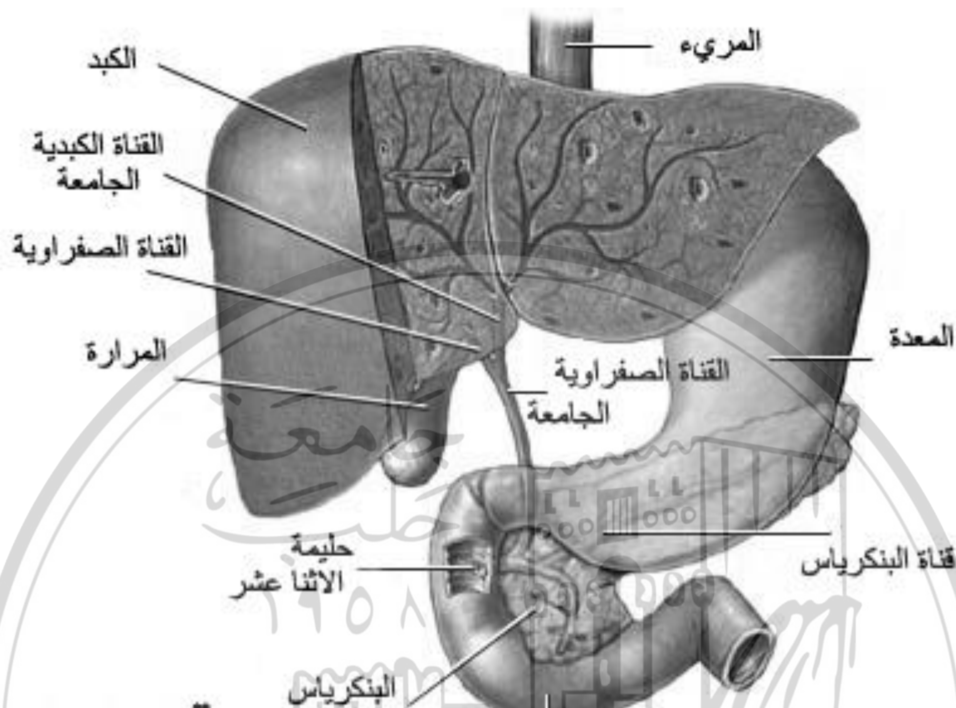
علماً أن العصارة الحاوية على الأنزيمات الهاضمة تفرزها الخلايا الغدية، بينما الماء والشوارد المعدنية تفرزها الخلايا المبطنة للأقنية البنكرياسية. تنتقل العصارة البنكرياسية الحاوية على الأنزيمات الهاضمة عبر القناة البنكرياسية الرئيسية (قناة ويرسنغ) التي تتحد مع القناة الصفراوية بعد مصرة أودي مشكلةً مجلاً فاتراً الذي ينفتح على العفج. أما البيكربونات البنكرياسية فتصب على العفج عن طريق القناة البنكرياسية الثانوية (سانتورين).

ينظم إفراز العصارة البنكرياسية دفعات عصبية ممثلة بالعصب المبهم، والذي يحث الفصيصات الغدية على إفراز عصارة غنية بالأنزيمات الهاضمة. إضافة إلى ذلك يتأثر إفراز العصارة البنكرياسية بهرمون الكولي سيستوكين - بانكريوزيمين، وهرمون السكرتين اللذان تفرزهما خلايا موجودة في مخاطية العفج إثر دخول الطعام الحاوي على البروتينات وذي الطعم الحامضي إلى العفج. ينتقل هرموني الكولي سيستوكين - بانكريوزيمين عبر الدم إلى البنكرياس محرضاً الفصيصات الغدية على إفراز عصارة غنية بالأنزيمات الهاضمة تعمل على هضم جميع المكونات العضوية الرئيسية للغذاء، بينما ينقل السكرتين عبر الدم إلى البنكرياس محرضاً الخلايا المبطنة للأقنية البنكرياسية على إفراز كميات كبيرة من شوارد البيكربونات التي تعمل على تعديل حموضة الكيموس وحماية مخاطية العفج من خطر التخريش.

2- الكبد والعصارة الصفراوية:

الكبد عبارة عن غدة كبيرة تزن عند الإنسان حوالي (1.5) كغ. يتكون الكبد من أربعة فصوص هي الفص الأيمن والفص الأيسر والفص المربع والفص الذيلي، يشتمل كل منها على عدد كبير من الفصيصات التي تحتوي على خلايا غدية يفرز مجموعها العصارة الصفراوية. تطرح خلايا الكبد العصارة الصفراوية خارج الخلايا في قنيات دقيقة تصب في قنوات أكبر فأكبر لتلتقي في النهاية بقناة واحدة تصب في الحويصل الصفراوي

(المرارة). يقع الحويصل الصفراوي على السطح السفلي للكبد وتخرج منه القناة الصفراوية التي تفتح على العفج بفتحة مشتركة مع قناة ويرسنغ، (الشكل رقم57).



الشكل رقم (57): الكبد والحويصل الصفراوي

تنتج خلايا الكبد العصارة الصفراوية بشكل مستمر وبمعدل يقارب (0.7) ليتر يوميا، والتي تبلغ درجة حموضتها بحدود (8)، وتتركب العصارة الصفراوية من :

أ- الماء بنسبة 95% من وزن الصفراء.

ب- الأصبغة الصفراوية: وأهمها البيليروبين الذي يتشكل من هيم الكريات الحمر المتحطمة في النسيج الشبكي البطاني. ينتقل البيليروبين المرتبط بالألبومين من المصورة إلى الخلايا الكبدية وفي الخلايا الكبدية يرتبط البيليروبين بالحمض الغلوكوروني فيتشكل البيليروبين المقترن الذي يطرح مع الصفراء.

ج- الأملاح الصفراوية: تتشكل الأملاح الصفراوية من اتحاد الحموض الصفراوية مع الصوديوم والبوتاسيوم. الحموض الصفراوية تتشكل من الكولسترول ذي المنشأ الخارجي أو المنشأ الداخلي الذي يصنع في الكبد، وفي الكبد يتحول الكولسترول إلى حمض الكوليك الذي يرتبط بالغليسين مشكلاً الحمض الصفراوي.

لا تحتوي العصارة الصفراوية على أنزيمات، ويكمن دورها في هضم الدهون و امتصاصها للحموض الصفراوية. تعمل العصارة الصفراوية على استحلاب جزيئات الدهن الكبيرة الموجودة في الطعام إلى جزيئات صغيرة تمكن ليباز البنكرياسي من هضمها، ونقل النواتج النهائية لهضم الشحوم وامتصاصها عبر الغشاء المخاطي للأمعاء. إضافة إلى ذلك العصارة الصفراوية تعد وسيلة لطرح الفضلات مثل البيلروبين وطرح كميات كبيرة من الكولسترول الذي تركبه خلايا الكبد.

ينتج الكبد العصارة الصفراوية بشكل مستمر، حيث تتجمع في الحويصل الصفراوي الذي يصب مفرزاته في العفج على شكل دفعات حسب حاجة الجسم وبتنظيم عصبي وهرموني.

تلعب الدفعات العصبية التي يحملها العصب المبهم دوراً في تنبيه الحويصل الصفراوي وحثه على التقلص من جهة، ويلعب هرمونا الكولي سيستوكين – بانكريوزيمين والسكرتين اللذان يصلان إلى الحويصل الصفراوي عن طريق الدم دوراً أخر في حث الحويصل الصفراوي على التقلص من جهة أخرى، (الشكل رقم 58).

الشكل رقم (58): تخطيط يوضح آلية التنظيم الهرموني لإفراز الكبد والبنكرياس

3-العصارة المعوية:

تفرز غدد برونر المتوضعة في السنتمترات الأولى من العفج المخاط استجابة إلى تنبيه العصب المبهم وبتأثير الكيموس الحامضي، في حين تفرز الخلايا الظهارية للغدد ليبركون المتوضعة على سطح المعي الدقيق الماء والشوارد المعدنية استجابة لزيادة التوتر الحلولي للكيموس. وأهم الشوارد المعدنية الموجودة في العصارة المعوية شاردة البيكربونات التي تساهم في تعديل حموضة الكيموس.

تتركب العصارة المعوية بمعظمها من ماء وأملاح البيكربونات والفوسفات والكلور ومواد مخاطية وانزيمات أهمها:

أ- أنزيمات الببتيداز التي تشطر الببتيدات الصغيرة وتحولها إلى حموض أمينية.

ب- أنزيمات تشطر السكاكر الثنائية وتحولها إلى سكاكر أحادية.

ج- مقادير صغيرة من الليباز المعوي الذي يشطر الغليسيريدات الثلاثية إلى غليسرول وحموض دسمة حرة.

ويبدو أن معظم هذه الأنزيمات توجد في أغشية الزغابات الدقيقة Microvilli، وظيفتها إتمام عملية هضم المواد العضوية وتحويلها إلى مركبات بسيطة قبل أن تنتقل إلى الدم.

وفيما يتعلق بآلية الإفراز، يفرز الإنسان ما يقارب لتراً واحداً من العصارة المعوية بمنعكسات عصبية موضعية بتحريض لمسي أو بالتهيج الناتج عن تدفق الكيموس إلى الأمعاء الدقيقة. وكذلك بتنظيم وإشراف هرموني يلعب فيهما الإفرازين والبانكريوزيمين – كولي سيستوكينين نتيجة تأثير البروتينات والكيموس الحمضي المتدفق من المعدة إلى العفج. ويعتقد أن إفراز الغدد المعوية للماء والأملاح يتم عبر إفراز شوارد الصوديوم بآلية النقل الفعال يرافقها نقل شوارد الكلور والبيكربونات، تعمل هذه الشوارد مجتمعة على نقل الماء من سوية الأمعاء إلى الدم.

- **الهضم في الأمعاء الغليظة:**

إن دور المعي الغليظ في هضم المواد الغذائية وامتصاصها معدوم تقريباً، إذا استثنينا القدرة الامتصاصية للجزء القريب منه والذي يقوم بامتصاص الماء والشوارد

المعدنية من الكيموس الذي يعبر من خلال المصرة اللفائفية – الأعورية. أما القسم البعيد من المعي فتنحصر وظيفته في تجميع الكتلة الغائطية وطرحها للخارج بعملية التغوط. هذا وتفرز ظهارة المعي الغليظ وبشكل خاص غدد لبيركون عصارة ذات تفاعل قلوي مكونة بشكل رئيسي من المخاط.

وظيفاً، يعمل المخاط في منع تسحج وتخرش ظهارة المعي الغليظ بالإضافة إلى تماسك الفضلات والتصاقها.

ويسيطر على إفراز عصارة المعي الغليظ آليات موضعية بشكل رئيسي. فالتنبيه الموضعي يمكن أن يزيد الإفراز بمقدار (8-10) أضعاف. وفي كثير من الحالات يكون ازدياد إفراز الماء والشوارد المعدنية بسبب تخرش مخاطية المعي الغليظ سبباً في الإسهال وحصول التجفاف.

ويحتوي المعي الغليظ على مجموعات كبيرة من البكتريا المتعايشة حيث تقوم هذه البكتريا بإنتاج العديد من الفيتامينات مثل فيتامين (B_{12} –K - E)، مما يجعلها تسهم في سد احتياجات العضوية ولو بشكل محدود من هذه المركبات الضرورية. ويؤدي نشاط البكتريا التخمري إلى تحويل قسم من السكريات إلى حمض خل وكحول اللذين يتمتعان بتأثير مطهر.

أما حركة الفضلات في الأمعاء الغليظة باتجاه المستقيم، تتم بفضل تقلص العضلات الدائرية والطولية المنتشرة على طول المعي الغليظ، حيث تنطلق هذه الحركات بعد تناول الطعام بوقت قصير بآلية انعكاسية (المنعكس المعدي – الكولوني)، بالإضافة إلى التنبيه الموضعي للمعي الغليظ.

8- آلية التغوط:

يعد التمدد المفاجئ لجدار المستقيم والناتج عن وصول كتلة الفضلات البرازية إليه الحافز الطبيعي لعملية التغوط، حيث يطلق توسع جداره دفعات عصبية واردة تنتشر عبر الضفيرة المعوية العضلية، فتزداد في هذه الحالة شدة الحركات التمعجية لكل من الكولون النازل والمعي السيني والمستقيم دافعة البراز باتجاه الشرج.

ويجري منع خروج المادة الغائطية باستمرار من الشرج بفعل التضيق القوي الذي تقوم به كلٌ من المصرة الداخلية (عضلات ملساء تتوضع داخل الشرج)، والمصرة الخارجية التي تتألف من عضلة إرادية مخططة تحيط بالمصرة الداخلية وتمتد أبعد منها. إضافة إلى ذلك هناك ألياف عصبية من العصب العاني تتحكم بالمصرة الخارجية وتؤخر عملية التغوط عندما لا تسمح الظروف الاجتماعية بذلك. ولكن تكرار فعل تأخير عملية التغوط سوف يؤدي إلى الإمساك نظراً لارتفاع العتبة التنبيهية لانطلاق منعكس التغوط. ومن الضروري في مثل هذه الحالات ملء المستقيم بكمية أكبر من الفضلات لكي يتم تحريض هذا المنعكس.

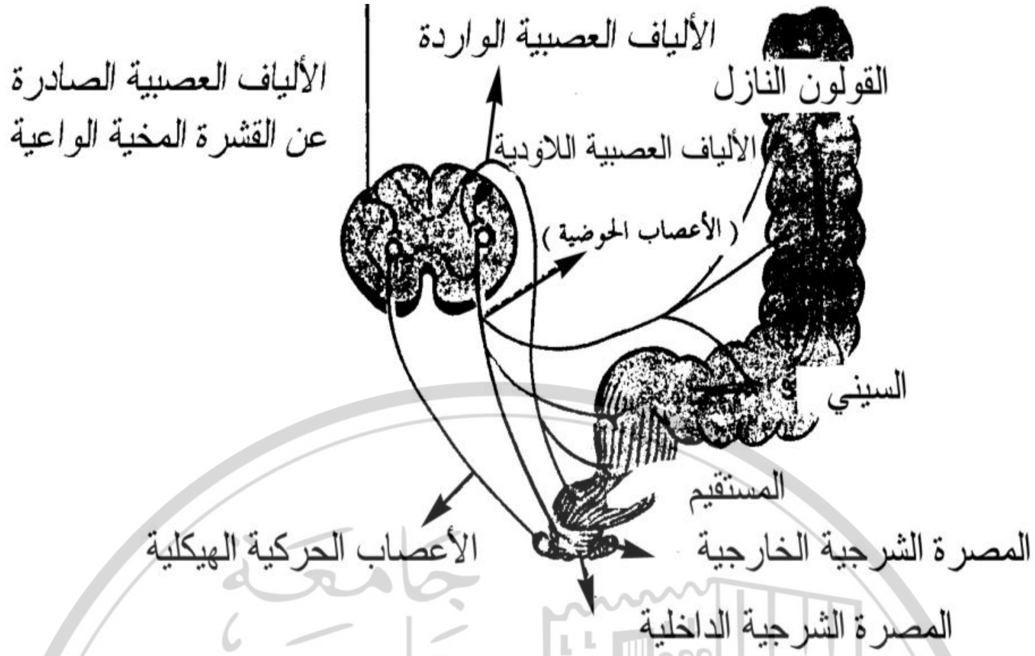
نستنتج مما سبق أن منعكس التغوط هو منعكس شوكي مركزه القسم العجزي من النخاع الشوكي ينبه عن طريق ضغط الفضلات البرازية على مستقبلات التمدد الموجودة في جدران المستقيم. تنقل هذه التنبهات عبر الألياف الحسية للعصب الحوضي إلى المنطقة العجزية للنخاع الشوكي الذي تصدر عنه الأوامر الحركية ناقلاً إياها العصب الحوضي (الفرع نظير الودي) إلى عضلات المستقيم مسبباً انقباضها واسترخاء المصرة الشرجية الداخلية.

ملامسة الفضلات للمصرة الخارجية تولد دفعات عصبية ينقلها الفرع الحسي للعصب العاني Pudenda.N إلى القسم العجزي من النخاع الشوكي الذي تصدر عنه أوامر حركية ناقلاً إياها العصب العاني الفرع الحركي إلى المصرة الشرجية الخارجية أمراً إياها بالاسترخاء وطرح الفضلات إلى الوسط الخارجي، (الشكل رقم 59).

وبالإضافة إلى ذلك يطلق هذا المنعكس مجموعة من الاستجابات المساعدة لفعل التغوط، فيزداد الضغط داخل البطن نتيجة لتقلص عضلات البطن وانخفاض الحجاب الحاجز بفعل الشهيق في بداية فعل التغوط.

9 – الامتصاص Absorption:

يعرف الامتصاص بأنه عملية انتقال المواد الناتجة عن هضم الغذاء في لمعة الأمعاء الدقيقة عبر الطبقة الظهارية للزغابات المعوية إلى الوسط الداخلي للجسم (اللمف والدم).



الشكل رقم (59): الألياف الصادرة والواردة ذات الآلية اللاودية والتي تعزز منعكس التغوط

لا يحدث امتصاص لأية مادة غذائية في الفم أو البلعوم أو المريء، وقد يحدث امتصاص لبعض العقاقير مثل الستركنين في الفم، بينما في المعدة يحدث امتصاص محدود لبعض المواد مثل امتصاص الماء والكحول وبعض العقاقير والسموم. أما الأمعاء الدقيقة فتعد المركز الرئيسي لعملية الامتصاص بسبب وجود خملات Villi عديدة. تعمل هذه الخملات على زيادة مساحة السطح المهيأ للامتصاص من جهة، وقيامها بحركات مقوية تساعد على تحريك المواد الغذائية القريبة من الغشاء المخاطي للأمعاء مما يسهل امتصاصها من جهة أخرى.

أما في سوية الأمعاء الغليظة فالامتصاص محدود جدا كامتصاص الماء وشوارد الصوديوم.

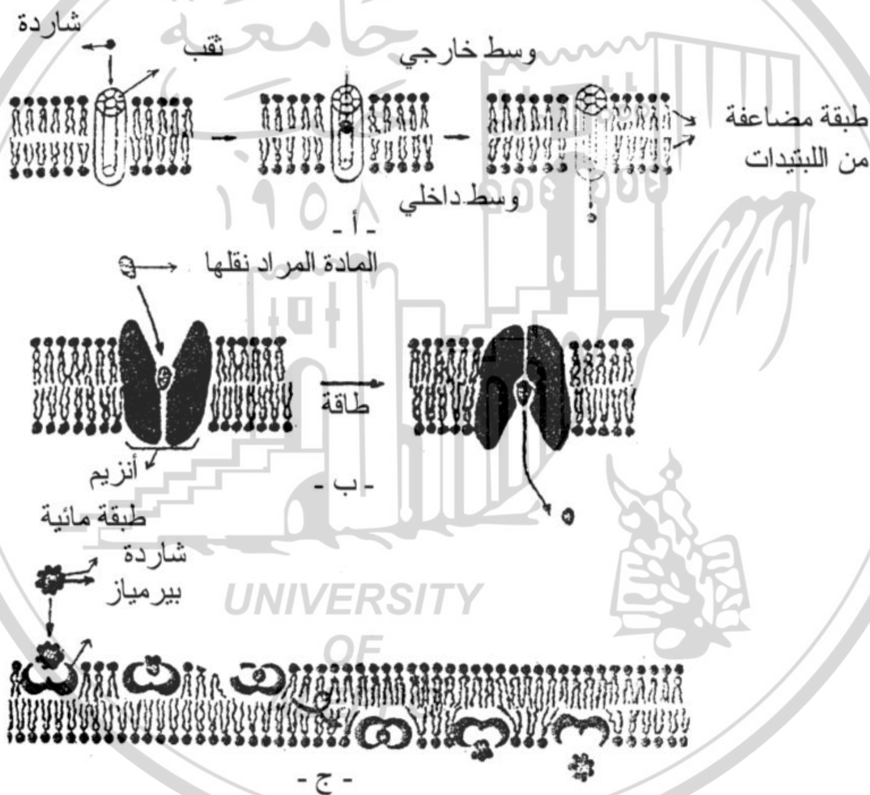
وتجتاز الوحدات الغذائية البسيطة أغشية الخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء الدقيقة بالنفوذ أو الشرب الخلوي Pinocytosis.

والنقل بالنفوذ يتم وفق الطرق التالية:

أ – النقل المنفعل (التلقائي) Passive Transport: يؤمن هذا النمط من النقل انتقال جزيئات المواد القابلة للنفوذ عبر قنيات دقيقة في الأغشية الخلوية بحسب ممال

التركيز من الوسط العالي التركيز إلى الوسط المنخفض التركيز ولا يحتاج هذا النمط من النقل إلى طاقة، (الشكل رقم 60 – أ).

ب – النقل الفعال Active Transport: وتؤمن هذه الطريقة نقل المواد بعكس تدرج التركيز من الوسط منخفض التركيز إلى الوسط العالي التركيز، ويتم هذا النقل بمساعدة بروتينات موجودة على الأغشية الخلوية لبطانة الأمعاء حيث تقوم هذه البروتينات بنقل مواد معينة بذاتها من أحد جانبي الغشاء إلى الجانب الأخر. ويحتاج هذا النقل إلى طاقة تأتي من حلمهة الجزيئات الغنية بالطاقة. وبتأثير هذه الطاقة يتحرك الجزيء أو الشاردة باتجاه السطح المقابل، (الشكل رقم 60 – ب).



الشكل رقم (60) آليات النقل بالنفوذ.

أ – النقل المنفعل ؛ ب – النقل الفعال ؛ ج – النقل الميسر

ج – النقل الميسر Facilitated Transport: تؤمن هذه الطريقة نقل المواد بحسب تدرج التركيز، ولكن نقلها يتطلب وجود نواقل نوعية تدخل في تركيب الغشاء الخلوي يربط إليها نوعياً الجزيء المراد نقله، لتنتقل إلى الطرف الثاني من الغشاء. وينفصل الجزيء أو الشاردة عن الحامل ويعود الناقل إلى وضعه الأولي ليحمل جزئياً أخر من

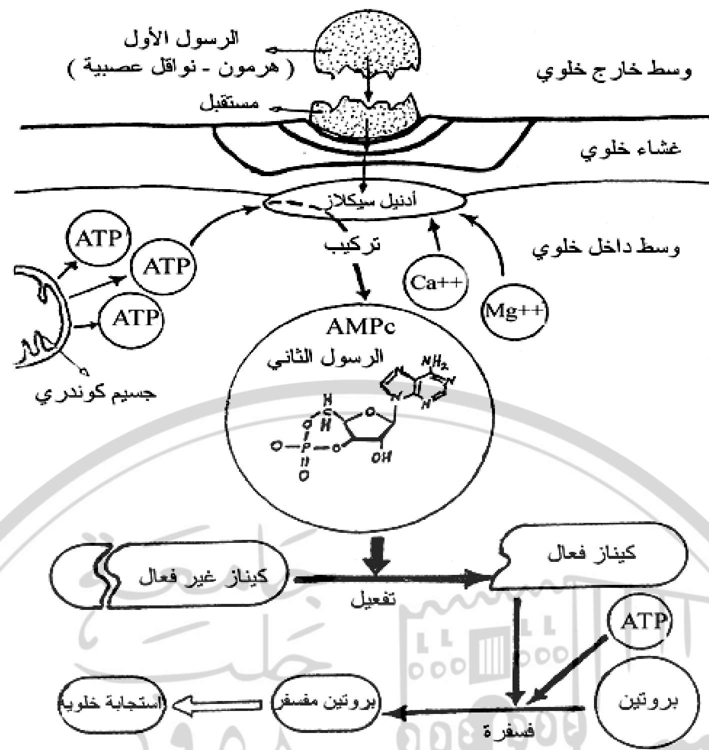
نفس النوع. ويختلف النقل الميسر عن النقل الفعال بأن النقل الميسر لا يحتاج إلى طاقة كما هو الحال في النقل الفعال (الشكل رقم 60– ج).

د – النقل بواسطة الرسول الثاني: يتم تنظيم نقل العديد من المواد الغذائية إلى الخلايا بإشراف هرمونات نوعية تلعب دور رسول أول First messenger.

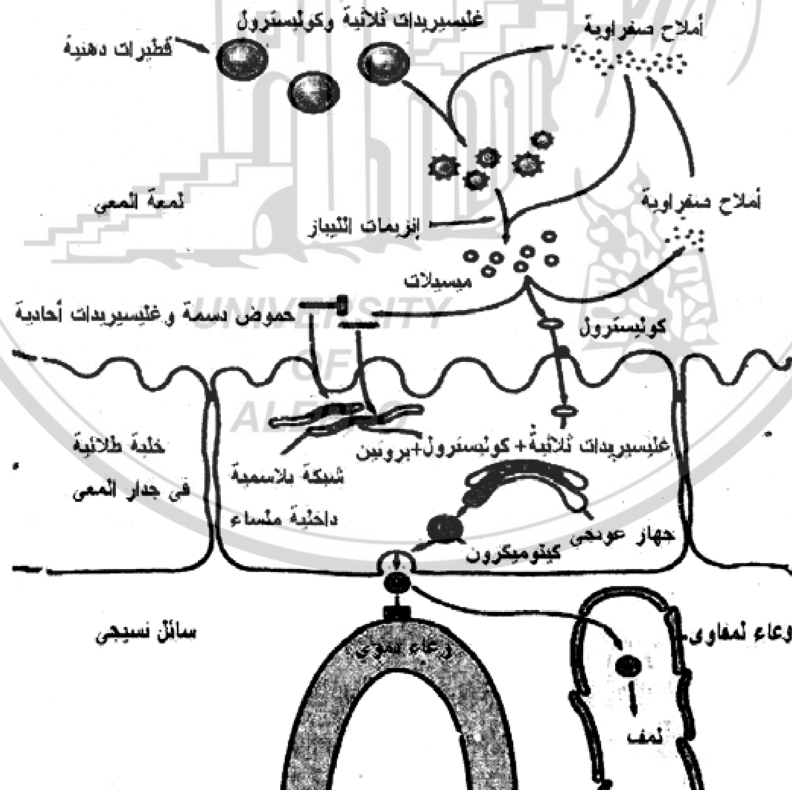
تؤثر هذه الهرمونات في خلايا الجسم عن طريق ارتباطها بمستقبلات نوعية موجودة على سطح الخلية المستهدفة بتطابق السطوح بين الهرمون والمستقبل. ينشط هذا الارتباط بوجود شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم أنزيم الأدنيل سيكلاز Adenyl Cycles الموجود بالقرب من معقد الهرمون – المستقبل، ويؤدي تفعيله إلى حلمهة جزيئات الـ ATP وإنتاج أدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي (AMPc) Adenosine Monophosphate Cyclic الذي يلعب دور رسول ثانٍ. يؤثر الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي في أنزيمات الكيناز Kinases الموجودة داخل الخلية بحالة غير فعالة ويحولها إلى حالة فعالة لتتوسط بدورها فسفرة بروتينات نوعية. وينتج عن هذه الفسفرة إطلاق استجابة نوعية في الخلية تتعلق بنوع البروتين المستهدف. وفيما يخص عملية الامتصاص، الاستجابة تزيد من نفاذية الطبقة الظهارية للزغابات المعوية للمواد الناتجة عن هضم الغذاء في لمعة الأمعاء الدقيقة. علماً بأن هذا النوع من النقل يحتاج إلى طاقة تأتيه من حلمهة جزيئات (ATP)، (الشكل رقم 61).

وتكمن أهمية الاستجابة عن طريق الرسول الثاني في مضاعفة استجابة الخلية للرسول الأول بحيث أن جزيئة واحدة من الرسول الأول تكفي لإطلاق العنان للرسول الثاني مئات المرات وبالتالي الاقتصاد في استهلاك الهرمون.

أما المواد التي لا يمكنها النفوذ عبر الطبقة الظهارية للأمعاء كالغليسيريدات الثلاثية فتنتقل بآلية الشرب الخلوي، وذلك بتكوين انخماصات تحاط خلالها المادة السائلة المراد نقلها بجزء من غشاء الخلية الظهارية للأمعاء، ويتكون ما يشبه الفجوة الغذائية التي تنفصل عن الغشاء وتغوص في أعماق سيتوبلاسما الخلية الظهارية لتتحد مع مكونات الشبكة البلاسمية الداخلية، ومنها إلى جهاز كولجي لتطرح خارج الخلية في الجانب المقابل عن طريق الحويصلات الإفرازية لتصل في النهاية إلى الجهاز اللمفي، (الشكل رقم 62).

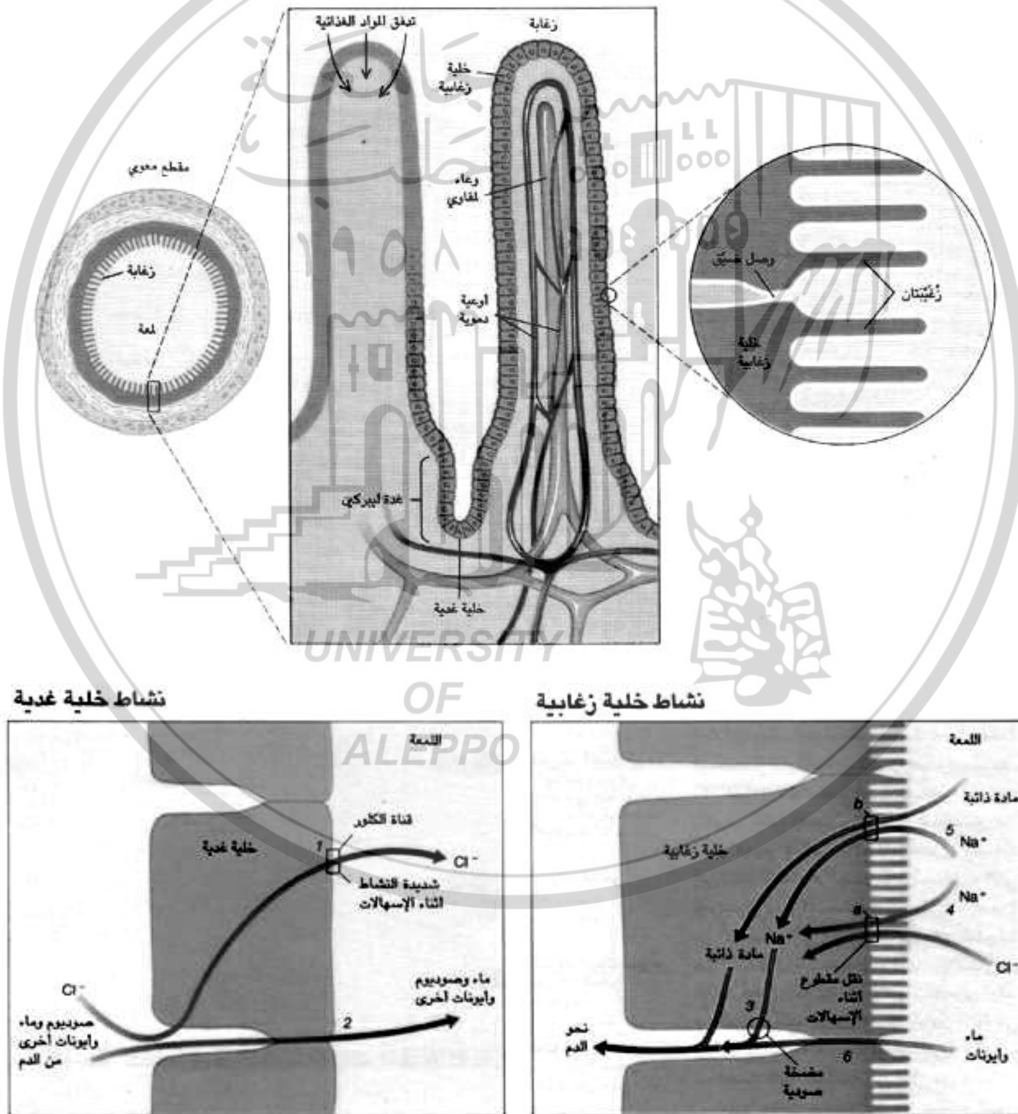


الشكل رقم (61): مخطط يوضح آلية النقل عبر جملة الرسول الثاني



الشكل رقم (62): تخطيط لجزء من خلية ماصة في الأمعاء الدقيقة يبين حركة المواد الدسمة المأخوذة من لمعة الأمعاء إلى داخل الخلية

ويبدو أن فعالية الأمعاء في امتصاص المواد الغذائية تزداد مع زيادة سطح الأمعاء. ففي الإنسان يصل طول الأمعاء إلى ما يزيد على ٥ أمتار. وتنثني مخاطية الأمعاء نحو الداخل على شكل دسامات معوية تحمل زوائد اصبعية الشكل تعرف باسم الزغابات المعوية أو الخملات Villi المبطنة بصف واحد من الخلايا الظهارية، ويمتد تحتها شبكة من الأوعية الدموية ووعاء لمفي. وتحمل كل خلية ظهارية مبطنة للأمعاء مئات الزوائد البروتوبلاسمية الدقيقة التي تعرف باسم الزغابات المعوية الدقيقة Microvilli، (الشكل رقم 63).



الشكل رقم (63): تخطيط لجزء من الطبقة المخاطية المبطنة للمعي الدقيق يظهر:

أ – الزغابات المعوية ؛ ب – إحدى الخلايا الظهارية المبطنة للزغابة المعوية

تعمل الزوائد البروتوبلاسمية للأمعاء والزوائد الإصبعية والثنيات الداخلية إلى زيادة سطح الأمعاء إلى أكثر من مليون مرة قدر سطح أنبوبة ملساء لها نفس القطر. إذ تقدر المساحة السطحية الداخلية للأمعاء الدقيقة عند الإنسان بحدود (100) م^2. وتؤمن هذه المساحة تسهيلاً كبيراً لامتصاص جزيئات الطعام. تقوم الخلايا الظهارية المعوية بامتصاص المواد الغذائية المهضومة من لمعة الأمعاء وإيصالها إلى جهاز الدوران والجهاز اللمفي.

10- امتصاص المواد الغذائية:

أ – امتصاص الماء والعناصر المعدنية:

تعد القوى الحلوليه الآلية الأساسية والمحركة للماء عبر الخلايا الظهارية وفقاً لقوانين الحلول. فعند العبور السريع نسبياً للكيموس المعدي باتجاه المعي يصبح محتواه مرتفع التوتر لبعض الوقت، مما يسبب انتقال الماء بخاصية الحلول من المصورة باتجاه المعي عبر الخلايا الظهارية وعلى العكس من ذلك يؤدي امتصاص الغلوكوز والحموض الأمينية والفيتامينات بالإضافة إلى شوارد الكلور إلى انخفاض حلوليه الكيموس المعدي وانتقال الماء باتجاه المصورة الدموية من خلال الخلايا الظهارية. يتم امتصاص الماء على طول امتداد القناة الهضمية ولكن تكاد أن تكون مهملة في المعدة وتكون على أشدها في الأمعاء الدقيقة حيث يمتص أكثر من 85% منها ويمتص الباقي في سوية الأمعاء الغليظة.

وفيما يتعلق بامتصاص الشوارد المعدنية فتختلف سرعة امتصاصها وآلية عبورها للأمعاء باختلاف طبيعتها الكيميائية. فشوارد الصوديوم تعبر لمعة الأمعاء إلى داخل الخلايا الظهارية الماصة وفق آلية النقل الفعال المرافقة للغلوكوز والحموض الأمينية، في حين تطرد شوارد الصوديوم خارج الخلايا الظهارية الماصة في الجهة المقابلة بآلية النقل الفعال عبر مضخات صودية – بوتاسية ومنها إلى الدم. أما بالنسبة لشوارد الكلور فيتم امتصاصها في المعي الدقيق حسب المجال الكهربائي الذي يسببه امتصاص شوارد الصوديوم. يخلق نقل شوارد الصوديوم الإيجابية الشحنة عبر الخلايا الظهارية في معظم أجزاء الأمعاء الدقيقة سلبية كهربائية في الكيموس، وإيجابية كهربائية على الجهة القاعدية

من الخلايا الظهارية مما يسبب في تحرك شوارد الكلور على طول هذا المدروج الكهربائي لتتبع شوارد الصوديوم. أما المغنيزيوم والحديد فيعاد امتصاصها في الأمعاء الدقيقة والغليظة بآليات النقل الفعال.

وفيما يتعلق بالبيكربونات التي تفرز في الأمعاء فلا يمكن إعادة امتصاصها على هيئة بيكربونات لأن أغشية خلايا الأمعاء في الطرف الملامس للمعة غير نفوذ للبيكربونات. ويتمكن الجسم من إعادة امتصاصها على النحو التالي: تتحد البيكربونات مع شوارد الهيدروجين في لمعة الأمعاء ويتشكل حمض الكربون الذي يتفكك إلى ماء يبقى في الكيموس وغاز ثاني اوكسيد الكربون تمتصه الخلايا الطلائية للأمعاء ليتحول ضمنها إلى بيكربونات من جديد بفعل أنزيم كاربونيك إنهيدراز الذي ينشط تفاعل الماء وثاني اوكسيد الكربون ليعطي حمض الكربون. يتشرد حمض الكربون إلى بيكربونات تعاد إلى الدم وهيدروجين يفرز إلى الأمعاء ليتفاعل مع جزيئات أخرى من البيكربونات، كما يمكن لثاني اوكسيد الكربون أن يمتص من قبل خلايا جدار الأمعاء وينقل الى الدم ليطرح عن طريق الرئتين. أما امتصاص الكالسيوم والفوسفات فيتم حسب حاجة الجسم وبتنظيم هرموني يلعب فيه الهرمون جار الدرق Parathyroid الذي تفرزه الغدد جارات الدرق وفيتامين D دوراً أساسياً.

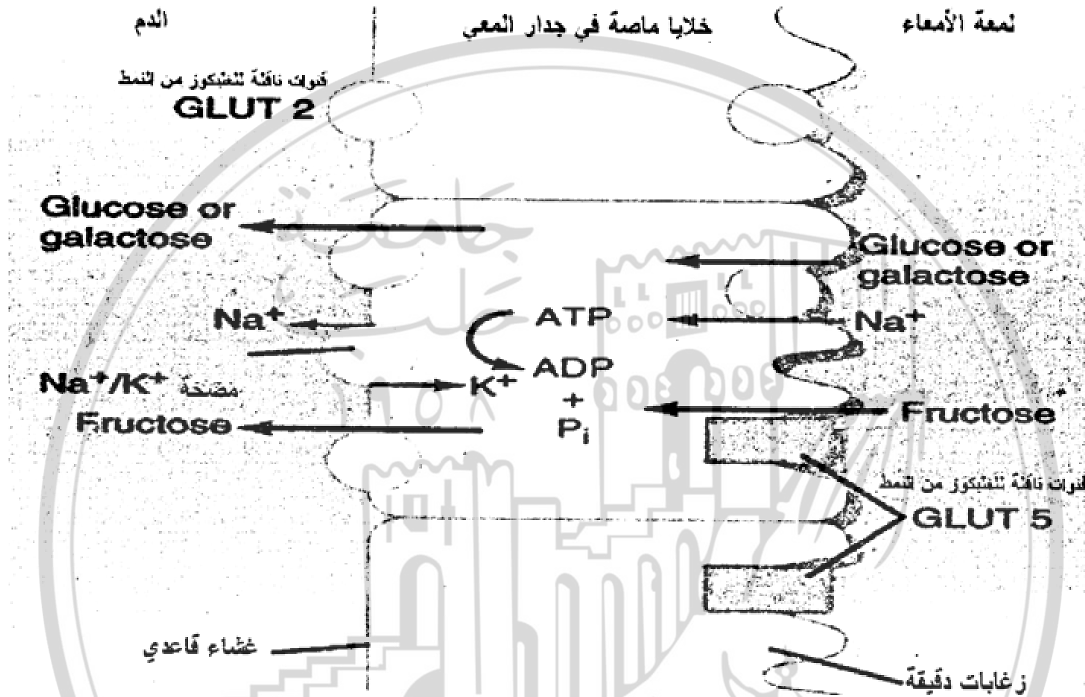
ب – امتصاص السكريات:

بعد أن يتم هضم السكريات وتحويلها إلى سكريات أحادية في لمعة الأمعاء أو في سوية أغشية الخلايا الماصة (الحافة الفرجونية)، تمتصها الخلايا الظهارية الماصة بطرق مختلفة. فالفركتوز ينتقل بآلية النقل المنفعل، بينما ينقل الغلوكوز والغالكتوز بتدخل جملة الرسول الثاني وبمساعدة جزيئات بروتينية نوعية خاصة بشوارد الصوديوم والغلوكوز. تتحرك شاردة الصوديوم وفق مدروجها الكهربائي إلى داخل الخلية وتجر معها الغلوكوز، (الشكل رقم 64).

ج – امتصاص البروتينات:

تمتص الحموض الأمينية الناتجة عن هضم البروتينات من قبل الخلايا الظهارية الماصة للأمعاء الدقيقة بآلية النقل الفعال وبمساعدة بروتينات ناقلة نوعية بوجود شوارد

الصوديوم، حيث تتحرك شاردة الصوديوم وفق مدروجها الكهربائي إلى داخل الخلية وتجر معها الحمض الأميني. هذا وتمتص أمعاء الإنسان لدى البعض كميات قليلة من البروتين غير المهضوم والتي تلعب في هذه الحالة دور مولدات ضد يشكل لها الجسم مولدات ضد. وفي حال تكرار تناول البروتين نفسه ينتج عنه الحساسية الغذائية التي تظهر على هيئة طفح جلدي.



الشكل رقم (64): تخطيط يوضح آلية عبور السكريات لخلايا الزغابات المعوية

أما الحموض النووية والنيكلوتيدات فإنها لا تمتص عبر جدار الأمعاء إلا بعد هضمها إلى نيكلوزيدات يمكنها أن تجتاز الخلايا الظهارية للأمعاء بآلية النقل الفعال.

د– امتصاص اللبيدات:

تخترق المركبات الليبيدية المهضومة كالغليسيريدات الثلاثية جدار الأمعاء بطريقة الشرب الخلوي، أما الحموض الدسمة والغليسيريدات الأحادية والغليسرول، فتنتقل إلى الحافة الفرجونية للخلايا الظهارية مرتبطة بالحموض الصفراوية على شكل مذيلات Micelles.

تبدو المذيلات على هيئة كرات دقيقة قطرها بحدود (3-6) نانومتر تجتمع فيها أملاح الصفراء والحموض الدسمة والغليسيريدات الأحادية واللبيدات غير المستقطبة بما

فيها الفيتامينات المنحلة في الدهون (A-D-E-K) بحيث الجزء المستقطب من الجزيئات يتوضع على محيط هذه الكرات ملامسا للوسط المائي. أما الجزء غير المستقطب من هذه الجزيئات يتوضع في مركز الكرات بعيداً عن الوسط المائي، وهذا الارتباط يسهل عبور اللبيدات للغشاء المخاطي المبطن للأمعاء الدقيقة بالشرب الخلوي، حيث يرتبط معقد المذيلات بالغشاء المخاطي للأمعاء وبعد ارتباطها بالغشاء المخاطي للأمعاء تتحطم المذيلات إلى أملاح الصفراء والمركبات الدسمة المهضومة، حيث يتم عبور المواد الدسمة إلى داخل الخلية، بينما الحموض الصفراوية تبقى في لمعة الأمعاء ليعاد امتصاصها في سوية اللفائفي وتعاد إلى الكبد عن طريق وريد الباب وذلك لإعادة استخدامها مرة اخرى في تكوين العصارة الصفراوية.

وتختلف الطريقة التي تسلكها الحموض الدسمة الممتصة عبر جدار الأمعاء. وبشكل عام فإن الحموض الدسمة الحرة القصيرة والمتوسطة التي تحتوي على أقل من (12) ذرة كربون يمكنها أن تجتاز الخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء بآلية النقل المنفعل وتنتقل مباشرة باتجاه الوريد البابي. في حين أن الحموض الدسمة ذات السلاسل الطويلة أكثر من (12) ذرة كربون والغليسيريدات الأحادية والكولسترول والشحوم الفوسفورية تعاد أسترتها داخل الخلايا الظهارية للأمعاء وتتحول ثانية إلى غليسيريدات ثلاثية في سوية الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء، وتجتمع الغليسيريدات الثلاثية مع بروتينات ولبيدات فوسفورية وكولسترول وفيتامينات منحلة في الدهون، وتأخذ هذه المكونات طريقها إلى جهاز كولجي فالحويصلات الإفرازية لتطرح خارج الخلايا الظهارية في الجانب المقابل للمعة الأمعاء على هيئة مستحلب الدقائق الكيلوسية Chylomicron الذي يدخل إلى الجهاز اللمفي فجهاز الدوران.

هـ – امتصاص الفيتامينات:

تنتقل الفيتامينات القابلة للانحلال بالدهون من لمعة الأمعاء إلى الجهاز اللمفي بآلية امتصاص الدهون، أما الفيتامينات القابلة للانحلال في الماء (B-C) فتخترق جدار الأمعاء الدقيقة بآليات مختلفة، فمثلاً فيتامين B_6 ينتقل بآلية النقل المنفعل، في حين يعبر كلٌّ من (C - B_1) مخاطية الأمعاء بالنقل الفعال وبوجود شوارد الصوديوم، بينما يحتاج امتصاص فيتامين B_{12} إلى ارتباطه بالعامل الداخلي الذي تفرزه خلايا المعدة.

الفصل السادس
فيزيولوجيا العصبون
Neuron Physiology

يتألف النسيج العصبي عند الإنسان من عدد كبير من الخلايا يصل عددها إلى (100) بليون خلية. تمايزت هذه الخلايا بطريقة تمكنها من القيام بعملية تنظيم الحياة الإعاشية للفرد وتنظيم علاقة الفرد مع الوسط المحيط. يطلق على وحدات النسيج العصبي البنيوية والوظيفية اسم العصبون Neuron، ويعرف مجموع العصبونات بالجملة العصبية Nervous System. إضافة إلى ذلك يوجد بين الخلايا العصبية أيضاً خلايا أخرى مختلفة الأشكال والوظائف تدعى بخلايا الدبق العصبي Glial Cell.

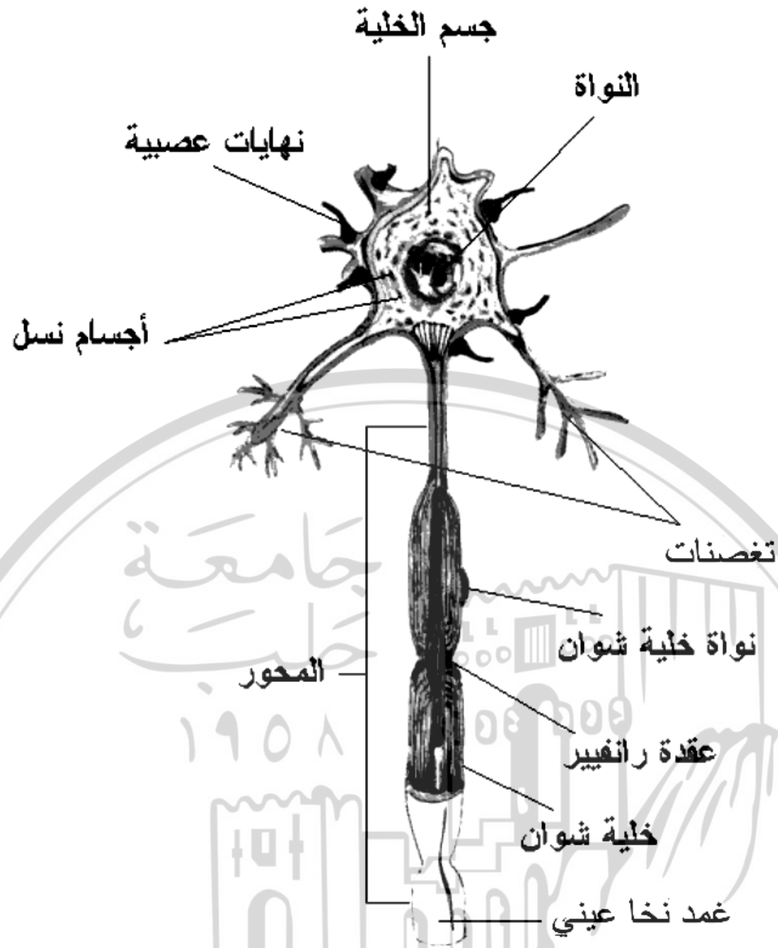
لقد تخصصت الخلايا العصبية بخاصية التنبه والناقلية في حين تخصصت خلايا الدبق العصبي في عملية العزل الكهربائي وتقديم التغذية الكافية للعصبونات و ترميم الألياف العصبية وبلعمة الخلايا الأخذة بالانحلال.

1- بنية الخلية العصبية:

تتألف الخلية العصبية بشكل عام من جسم الخليةBody Cell، الذي يصدر عنه امتدادات سيتوبلاسمية تعمل على ربط الخلية العصبية بعصبونات أخرى. تشمل الامتدادات السيتوبلاسمية على تغصنات Dendrites شديدة التفرع ومحور اسطواني Axon، (الشكل رقم 65).

وتبعاً لتوضع هذه الامتدادات حول الجسم تعرف على عدة أنماط شكلية للعصبونات، (الشكل رقم 66).

أ - عصبونات وحيدة القطب Unipolar Neurons: وهي عصبونات ذات محور واحد، هذا المحور قد يتفرع إلى فرعين بعد جسم الخلية مكوناً شكل حرف (T)، ومثالها العصبونات الحسية في العقد الشوكية.



شكل رقم (65): الخلية العصبية

ب - عصبونات ثنائية القطب Bipolar Neurons: وهي عصبونات ذات امتدادين، الأول محور أسطواني يلعب دور ناقل للتعليمات، والثاني استطالة سيتوبلاسمية تلعب دور استقبال، ومثالها العصبونات ثنائية القطب في الظهارة الشمية.

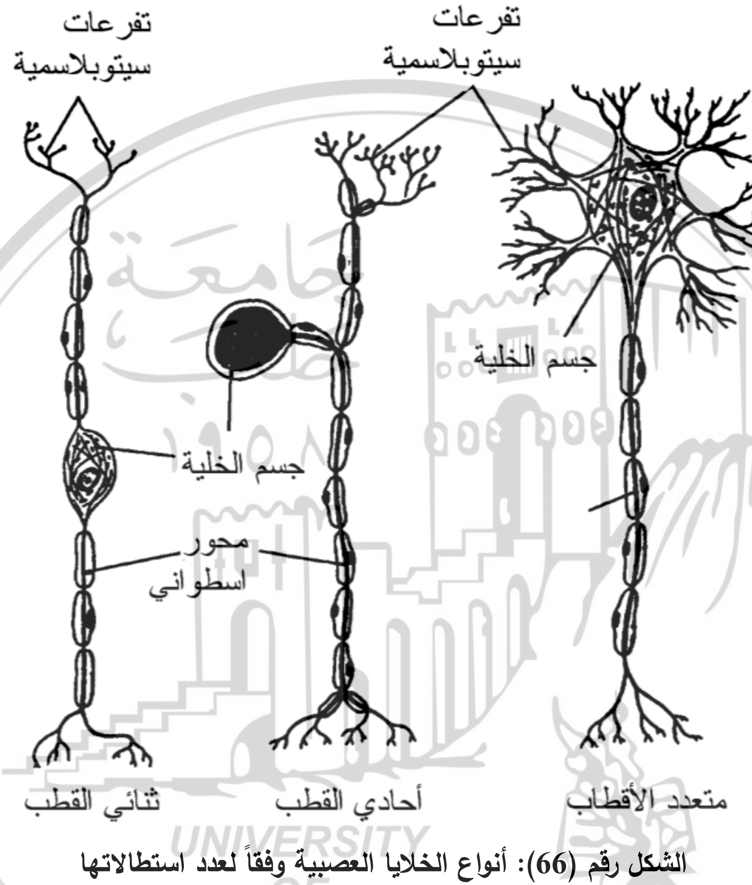
ج - عصبونات متعددة الأقطاب Multipolar Neurons: وهي عصبونات لها محور أسطواني واحد وعدة استطالات سيتوبلاسمية ومثالها، العصبونات النجمية في القرنين الأماميين للنخاع الشوكي، والخلايا الهرمية في القشرة المخية.

كما تقسم الخلايا العصبية وظيفياً إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

أ- خلايا عصبية حسية: وهي عصبونات ثنائية القطب تعمل على نقل الإحساسات من عضو الاستقبال إلى الجملة العصبية المركزية ومثالها، أجسام الخلايا العصبية التي تقع في العقد الشوكية الظهرية للأعصاب الشوكية.

ب- خلايا عصبية محركة: وهي عصبونات متعددة الأقطاب هرمية الشكل، تعمل على نقل الأوامر الحركية من المراكز العصبية إلى الأعضاء المنفذة، ومثالها الخلايا الهرمية في القشرة المخية.

ج- خلايا عصبية بينية: وظيفتها الربط بين العصبونات المتجاورة.



الشكل رقم (66): أنواع الخلايا العصبية وفقاً لعدد استطالاتها

2 – الألياف العصبية Nerve Fibers:

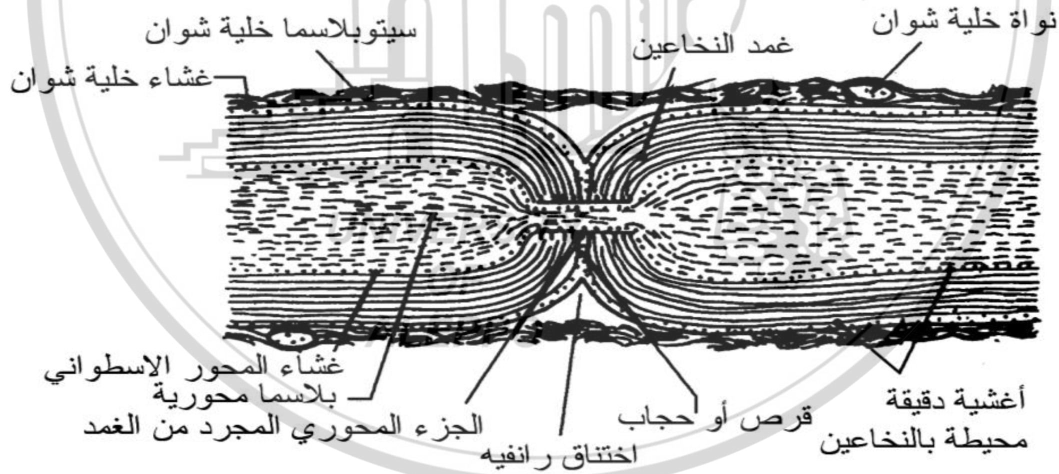
يطلق اسم الليف العصبي على المحور والغمد المحيط به. ويطلق على مجموع الألياف العصبية في المادة البيضاء اسم حزمة عصبية وعلى مجموعها خارج المحور الدماغي الشوكي اسم الأعصاب. وحسب صفات الغمد يمكن تصنيف الألياف العصبية إلى ثلاثة أنواع:

أ- الألياف العصبية العارية: وهي ألياف لا تكون محاطة بأي غمد، أو تكون محاطة جزئياً بخلايا الدبق العصبي وتوجد في المادة الرمادية.

ب – الألياف العصبية المغمدة بالنخاعين Myelinated Fibers: الألياف النخاعية مشابهة للألياف عديمة النخاعين، إلا أن كل محور يحاط بخلية شوان واحدة. يتشكل غمد النخاعين المحيط بهذه الألياف خلال مراحل النمو بسبب الالتفاف الحلزوني لخلية شوان حول المحور.

غمد النخاعين ذا ثخانة منتظمة على طول امتداده ولكنه يتقطع من مكان لآخر باختناقات رانفيه Nods of Ranvier، (الشكل رقم 67). تسمح اختناقات رانفيه لمحور الخلية العصبية بالاتصال المباشر مع السائل النسيجي المحيط. ومن الملاحظ أن هذه الاختناقات تعمل على تجزئة غمد النخاعين إلى قطع متساوية الطول، تمثل كل قطعة خلية شوان واحدة، وتلعب هذه الاختناقات دوراً كبيراً في نقل الدفعة العصبية Nervous Impulse بسرعة على شكل قفزات.

أما وظيفة غمد النخاعين فهي غير محددة بدقة، ويحتمل أن غمد النخاعين بالتفافه حول الليف العصبي يلعب دور عازل للدفعات العصبية مثل دور العازل الموجود حول السلك الكهربائي.



الشكل رقم (67): البنية الدقيقة لليف النخاعيني في مستوى اختناق رانفيه (مقطع طولي)

ج– الألياف العصبية عديمة النخاعين Unmyelinated Fibers: يتميز هذا النوع من الألياف بوجود غمد شوان الذي يتكون من خلايا شوان. إذ تجمع كل خلية من خلايا شوان عدة محاور وتبقى هذه المحاور على اتصال بالسائل النسيجي المحيط بممرات خاصة تتشكل نتيجة انخماصات في غشاء خلية شوان تندفع نحو محاور

العصبونات. وظيفة غمد شوان عزل محاور العصبونات بعضها عن بعضها الأخر، مما يؤمن ناقلية أفضل للدفعات العصبية، بالإضافة إلى مساهمته في تغذية وتجديد الألياف العصبية مادام جسم الخلية بحالة سليمة.

3– فيزيولوجيا الخلية العصبية:

تستجيب الخلايا العصبية للمنبه بتشكيل دفعات عصبية، وتعود هذه الاستجابة إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحيوية التي تتمتع بها أغشية هذه الخلايا ولاسيما ما يتعلق باستقطاب الغشاء ونفاذيته المتباينة للشوارد أثناء الراحة والعمل. وتتميز الخلايا العصبية بخاصتين هما :

أ – خاصية التنبه Excitability .

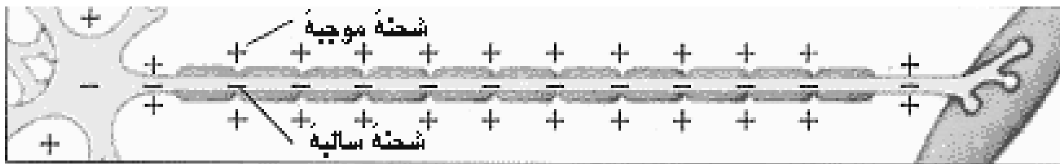
ب – خاصية الناقلية Conductivity .

أ– خاصية التنبه:

تعرف الدفعة العصبية بأنها الظاهرة التي تنتشر في الخلية العصبية، وعلينا الآن إيضاح طبيعة هذه الظاهرة وآلية انتقالها، ونظراً لأن الدفعة العصبية تتجلى بالظواهر الكهربائية المرافقة لها، فإننا سنقوم بدراسة هذه الظواهر في فترة الراحة ثم في أثناء الفعالية كاستجابة للتنبيه.

1– كمون الغشاء الخلوي أثناء الراحة:

يوصف الغشاء البلاسمي في الخلايا العصبية بأنه غشاء مستقطب، (الشكل رقم 68)، لأنه يفصل بين وسطين يختلفان بالإشارة الكهربائية (الوسط الداخلي للخلية سالب الشحنة ووسطها الخارجي موجب الشحنة). يولد هذا الاستقطاب Polarization فرقاً في الكمون الكهربائي بين الحيزين الداخلي والخارجي للخلية يقدر بـ (– 90) ميلي فولط في الخلايا العصبية، ويعرف هذا الفرق في الكمون بكمون الراحة Rest Potential.



الشكل رقم (68) الخلية العصبية المستقطبة

2 – طبيعة كمون الراحة:

إذا وضعنا قطبين كهربائيين على سطح ليف عصبي في حالة راحة موصولين بمقياس (راسم اهتزاز مهبطي Osilocope) نجد أن جميع النقاط على سطح الليف متساوية في الجهد، ولكن إذا تركنا أحد القطبين في الداخل والأخر في الخارج تسجل إبرة المقياس انحرافاً دالة على مرور تيار كهربائي من السطح إلى الداخل يدعى تيار الراحة ويعادل (– 90) ميلي فولت. أي أن سطح الليف العصبي يحمل شحنة موجبة في حين أن داخل الليف يحمل شحنة سالبة، وهذا يعود إلى توزع وتركيز بعض الشوارد ذات الأهمية الفيزيولوجية على جانبي الغشاء، وخاصة شوارد البوتاسيوم (K^+) والكلور (Cl^-) والصوديوم (Na^+)، حيث توجد شوارد الصوديوم والكلور في الوسط خارج الخلية بكثافة عالية، في حين يوجد البوتاسيوم والشوارد العضوية بتراكيز عالية داخل الخلية هذا من جهة، ووجود المضخات الشاردية الصودية – البوتاسية (ثلاث شوارد صوديوم وشاردتين بوتاسيوم) وإلى نفوذية الغشاء الخلوي الاصطفائية للشوارد من جهة أخرى. علماً أن الغشاء نفوذ بحرية لشوارد البوتاسيوم والكلور ونصف نفوذ لشوارد الصوديوم وغير نفوذ للشرسبات (البروتينات).

وتخضع كل شاردة من الشوارد القابلة للنفوذ عبر الغشاء إلى قوتين فيزيائيتين:

1– قوى الانتثار Diffusion: التي تسمح بنقل الشوارد بحسب تدرج التركيز من الوسط العالي التركيز إلى الوسط المنخفض التركيز.

2– قوى الكهرباء الساكنة Electrostatic: والتي تعمل على نقل الشوارد حسب التدرج الكهربائي المتعلق بفرق مجموع الشوارد الموجبة والسالبة على جانبي الغشاء الخلوي (كلما ارتفع الفرق ازدادت قوة الانجذاب بين الشوارد المتعاكسة الشحنة وتنافرت الشوارد المتشابهة الشحنة).

فشوارد البوتاسيوم ذات الشحنة الموجبة والتي يفوق تركيزها داخل الخلية بـ 20 مرة تركيزها خارج الخلية تسعى إلى الانتقال من الوسط الداخلي إلى الوسط الخارجي حسب قوى الانتثار. ولكن يعاكس هذا الانتقال قوى الكهرباء الساكنة التي تسعى إلى الاحتفاظ بشوارد البوتاسيوم في الوسط الداخلي للخلية. نستنتج مما سبق أن البوتاسيوم هو المسؤول

الأول عن قيمة كمون الراحة وصاحب الدور الأول في استقطاب غشاء الخلية. والدليل على ذلك هو انخفاض قيمة كمون الراحة عند ارتفاع تركيز هذه الشاردة في الوسط الخارجي للخلايا القابلة للتنبيه. وقد ينعدم الاستقطاب كليا عندما يتساوى تركيز البوتاسيوم على جانبي الغشاء.

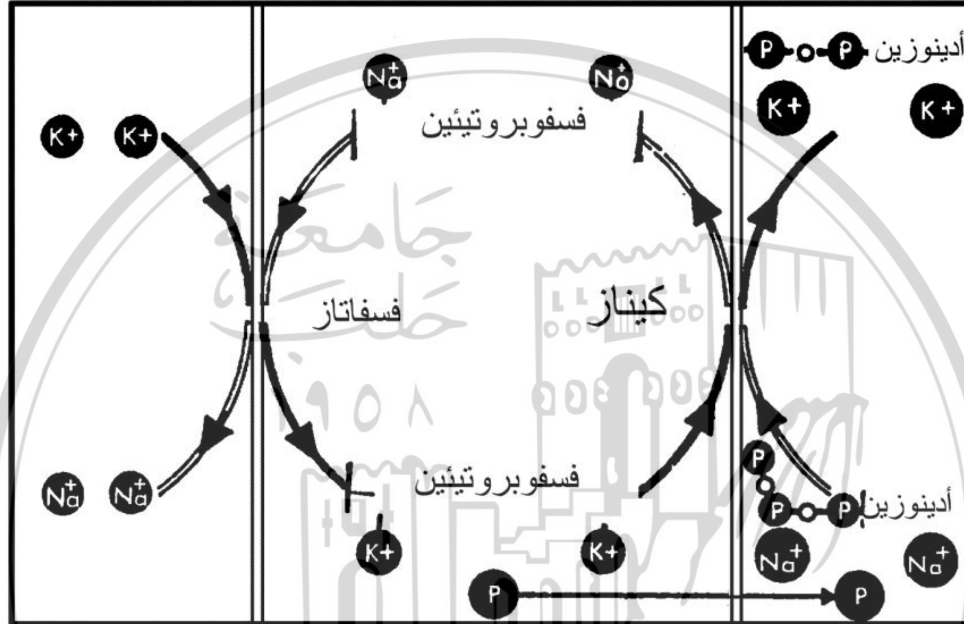
أما شوارد الصوديوم فتركيزها خارج الخلية أكبر من تركيزها داخل الخلية وشحنتها الموجبة يدفعها إلى الانتقال إلى داخل الخلية حسب قوى الانتشار وقوى الكهرباء الساكنة، ولكن ضعف نفاذية الغشاء لهذه الشاردة في طور الراحة بسبب كبر حجمها الذي يزيد على قطر المسام الموجودة في الغشاء الخلوي قليلاً، الأمر الذي يعوق سهولة حركتها. ولكن ميلها للانتقال إلى الوسط الداخلي في محاولة لازالت الاستقطاب، يفعل المضخات التي تعمل على مبدأ النقل الفعال من أجل طرد شوارد الصوديوم من داخل الخلية باستمرار إلى الوسط الخارجي.

ويتم النقل الفعال عن طريق أنزيمات نوعية من طبيعة بروتينية تشكل ما يسمى بالمضخات Pumps الصودية–البوتاسية، التي تعمل أولاً على فسفرة بروتين الوسط داخل الخلوي بوساطة جزيئات (ATP)، الأمر الذي ينشط حركة شوارد الصوديوم باتجاه السطح الداخلي للغشاء الخلوي، وبوجود أنزيم الكيناز ينقل المعقد شاردة الصوديوم إلى الوسط الخارجي. وفي الوقت نفسه يفسفر بروتين الوسط خارج الخلوي بوساطة (ATP) لينشط حركة البوتاسيوم باتجاه السطح الخارجي للغشاء الخلوي، وبوجود أنزيم الفوسفاتاز ينقل المعقد شاردة البوتاسيوم إلى داخل الخلية، (الشكل رقم 69).

وقد أثبت دور النقل الفعال في الحفاظ على قيمة كمون الراحة والحفاظ على اختلاف تركيز الشوارد على جانبي الغشاء تجريبياً بتعطيل عمل المضخات الشاردية بتأثير بعض المركبات الكيميائية مثل دي نترو فينول الذي يمنع تركيب (ATP)، أو مركب السيانور الذي يوقف تفاعلات الأكسدة، إذ وجد أن معالجة الخلايا العصبية القابلة للتنبيه بأحد هذين المركبين، فإن تركيز الصوديوم يزداد داخل الخلية لأن انتقاله في هذه الحالة يخضع لقوتي الانتشار والكهرباء الساكنة اللتين تسعيان لنقله حسب تدرج التركيز من الوسط الخارجي عالي التركيز إلى الوسط الداخلي منخفض التركيز في سبيل تحقيق

كمونه التوازني (تساوي قوى الانتشار وقوى الكهرباء الساكنة)، ويقل بذلك فرق تركيزه على جانبي الغشاء لعدم ضخه إلى خارج الخلية كما يزداد تركيز البوتاسيوم خارج الخلية للسبب نفسه.

ونستنتج من ذلك أن شاردة الصوديوم هي صاحبة الدور الأكبر في تشكيل كمونات العمل.



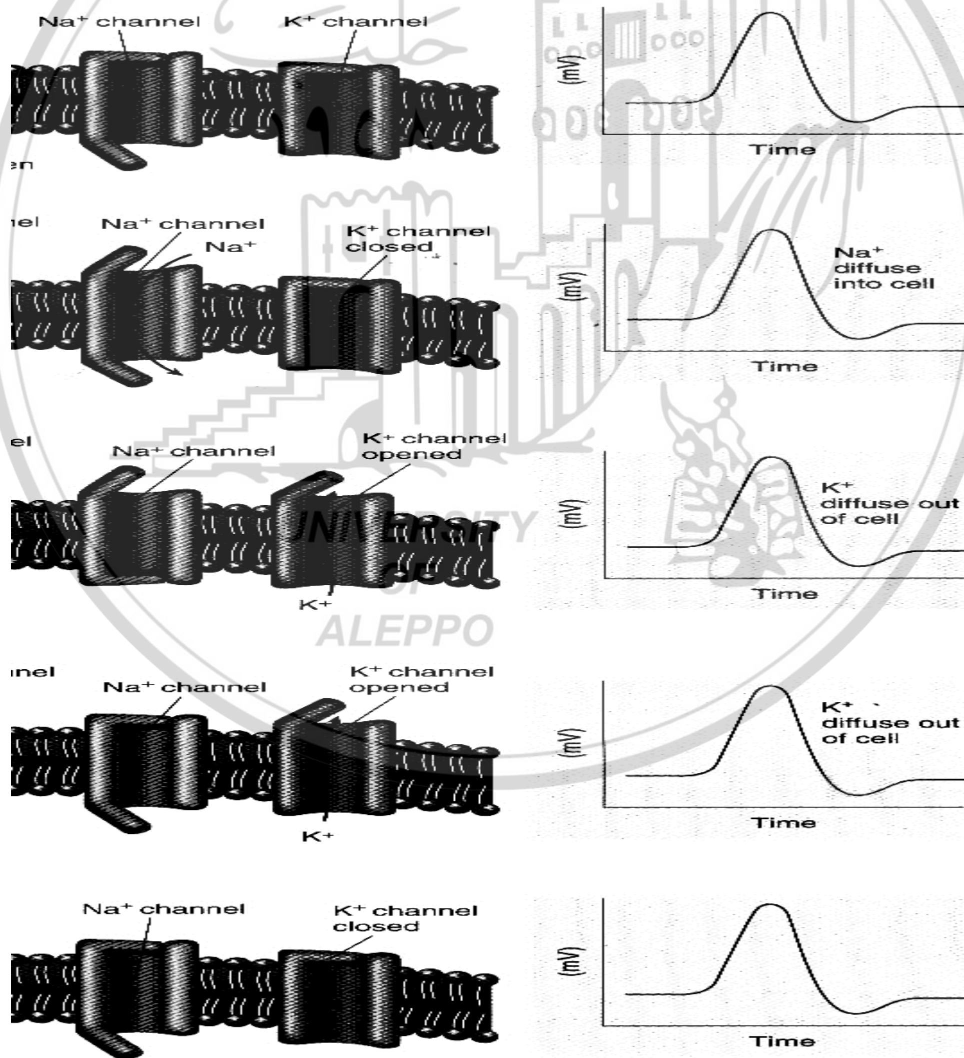
الشكل رقم (69): تمثيل تخطيطي لفرضية النقل الشاردي بواسطة الفسفوبروتين والأدينوزين ثلاثي الفوسفات والأنزيمات

أما شوارد الكلور ذات الشحنة السالبة والتي يفوق تركيزها خارج الخلية تركيزها داخل الخلية فتسعى إلى الانتقال من الوسط الخارجي إلى الوسط الداخلي حسب قوى الانتثار. ولكن يعاكس هذا الانتقال قوى الكهرباء الساكنة التي تسعى إلى الاحتفاظ بشوارد الكلور سالبة الشحنة في الوسط الخارجي للخلية.

أما الشوارد السالبة (البروتينات) داخل الليف العصبي فهي غير قابلة للنفوذ عبر غشاء الليف العصبي بسبب شحنتها السالبة وكبر حجمها بالنسبة لحجم المسام الموجودة في الغشاء الخلوي، لذلك تعد البروتينات هي المسؤولة عن الشحنة السالبة داخل الخلية.

وبما أن العامل الضروري لإحداث زوال وعودة الاستقطاب متعلق بقنوات الصوديوم المبوبة بالفولتاج (قنوات التفعيل وقنوات التعطيل) هناك نوعان من القنوات المبوبة بالفولتاج.

- قنوات الصوديوم المبوبة بالفولتاج: للصوديوم بوابتان خارجية تدعى بوابة التفعيل وداخلية وتدعى بوابة التعطيل. في حالة كمون الراحة (– 90) ميلي فولت بوابة التفعيل مغلقة والتعطيل مفتوحة، وعند وصول كمون الراحة إلى مستوى أقل سلبية (-60) ميلي فولت تنفتح قنوات التفعيل وتغلق قنوات التعطيل فتتضاعف نفوذية الغشاء للصوديوم، الأمر الذي ينجم عنه زوال استقطاب، (الشكل رقم 70):
- قناة البوتاسيوم المبوبة بالفولتاج: للبوتاسيوم بوابة تفعيلية واحدة فقط ، تكون مغلقة في حالة كمون الراحة والتي تبدأ بالانفتاح عند زوال الاستقطاب، علماً أن الانفتاح الكامل لقنوات التفعيل للبوتاسيوم يحدث عند ذروة كمون الفعل مما يسبب في إعادة الاستقطاب، (الشكل رقم 70):



الشكل رقم (70): تنشيط وتعطيل قنوات البوتاسيوم والصوديوم المبوبة بالفولتاج

3 – كمون الفعل Action Potential :

مادامت الخلية في حالة راحة فإن غشاءها يكون مستقطباً، لكن في حال تطبيق منبه ذي عتبة مجدية على الليف العصبي، فإن دفعة عصبية تنتشر على طوله نتيجة انعدام كمون الراحة وحصول تبدل للاستقطاب تصل قيمته أحياناً إلى (+30mv)، ويعود بعدها كمون الراحة بسرعة إلى حالة الاستقطاب الأساسية في فترة الراحة، نطلق على هذا التبدل المفاجئ والمؤقت في كمون الغشاء اسم كمون الفعل Action Potential، والذي يقسم إلى أربع مراحل، (الشكل رقم 71).

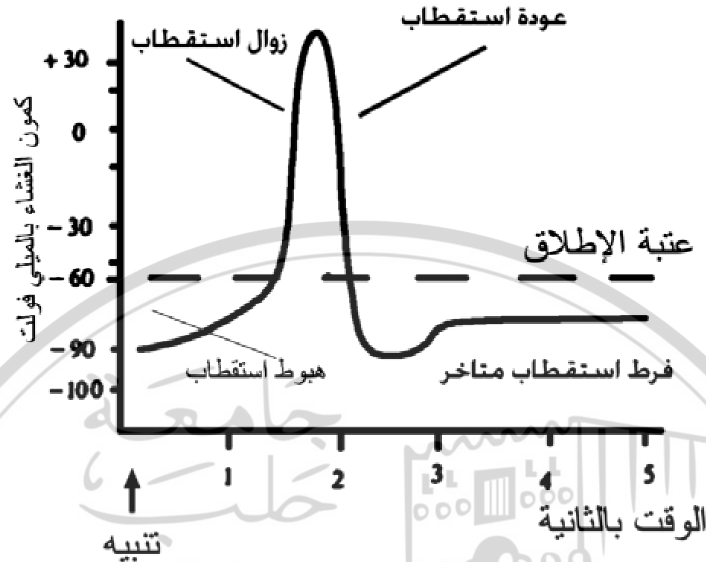
أ- هبوط الاستقطاب: هي الفترة التي يتناقص فيها كمون الراحة من (– 90 إلى – 60) ميلي فولت، أي السوية التي يصل فيها كمون الراحة إلى مستوى العتبة المجدية لينطلق عندها كمون العمل، ودون هذه السوية لا ينطلق كمون عمل وإنما تتشكل كمونات موضعية بسبب استمرار انفتاح قنوات الصوديوم التعطيلية.

ب- زوال استقطاب Depolarization: في هذه المرحلة تزداد نفوذية الغشاء لشوارد الصوديوم بشكل فجائي بعد أن كانت شبه متوقفة في أثناء الراحة، وعندها تدخل شوارد الصوديوم إلى داخل الليف بكثرة سعياً لتحقيق كمونها التوازني.

وهذا ما يفسر تبدل استقطاب الغشاء في منطقة تشكيل كمون الفعل (يصبح الوسط الداخلي للخلية موجب الشحنة في تلك المنقطة ووسطها الخارجي سالب الشحنة). إن الزيادة بدخول شوارد الصوديوم إلى داخل الليف وحدوث زوال استقطاب جاء من خلال انفتاح قنوات الصوديوم التفعيلية وانغلاق قنوات الصوديوم التعطيلية. وبعد حدوث زوال الاستقطاب تدخل تلك النقطة من الغشاء فترة قصيرة من الزمن تكون خلالها غير قابلة للتنبه، وهذا يتوافق مع زمن دخول شوارد الصوديوم إلى داخل الخلية (زمن عُصي مطلق Absolut Refractory Period)

ج . مرحلة عودة الاستقطاب Repolarization :وقبل وصول كمون الراحة إلى مستوى الكمون التوازني لشاردة الصوديوم تزداد نفاذية الغشاء لشوارد البوتاسيوم لأجزاء من الميلي ثانية بسبب انفتاح قنوات البوتاسيوم التفعيلية والتي تسمح بخروج شوارد البوتاسيوم بشكل حر من داخل الخلية في محاولة لإعادة الاستقطاب. بدليل إذا نبهنا الغشاء الخلوي للعصبون ثانيةً فإنه يستجيب بشرط أن تكون شدة المنبه أقوى مما

كانت عليه في الحالة الطبيعية (زمن عُصي نسبي Relative Refractory Period).



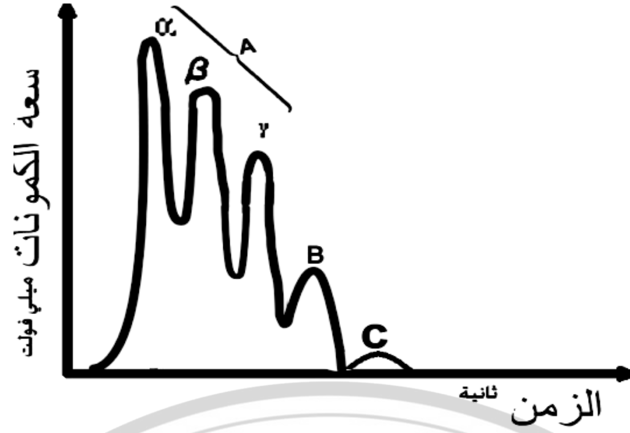
الشكل رقم (71): مراحل تشكل كمون الفعل بالتسجيل داخل الخلوي

د . مرحلة فرط استقطاب Hyperpolarization: بعد عودة الاستقطاب يبقى عدد من قنوات البوتاسيوم التفعيلية مفتوحة، الأمر الذي يسبب حدوث فرط استقطاب متأخر يدوم (40) ميلي ثانية يصبح عنده الكمون أكثر سلبية في هذه المرحلة ويصل حتى (-100) ميلي فولت. إن أهمية فرط الاستقطاب تكمن في جعل انتشار كمون العمل باتجاه واحد من جسم الخلية العصبية إلى نهاية الليف العصبي.

4 – كمون الفعل المركب Compound action Potential :

ولما كان العصب يتألف من أعداد كبيرة من الألياف ذات الأقطار المختلفة، فإن انتقال الدفعات العصبية فيها يأخذ مظهراً معقداً بسبب اختلاف سرعات انتقالها، وبذلك تتوافد هذه الدفعات بالتتابع على نقطة التسجيل الموصولة إلى شاشة الاوسيلوسكوب Osilocope رغم انبثاقها في اللحظة نفسها عند نقطة التنبيه.

وهكذا إذا ما نبهنا عصباً بعتبة ذات شدة حدية كافية لإثارة جميع أليافه كانت النتيجة هي وصول كمونات فعل متباينة في سرعتها وسعاتها. إذ أن كل ليف يتميز بقدر من الاستقطاب يختلف عن ليف إلى آخر. ويطلق على مجموع هذه الكمونات اسم كمون الفعل المركب Compound Action potential، (الشكل رقم 72).



الشكل رقم (72): كمون الفعل المركب

يكشف التحليل الدقيق الذي قام به (Gasser & Erlanger) للدفعات العصبية في الألياف العصبية عن وجود عدة أنماط رئيسة من الألياف، يرمز لها عادة بالألياف (A وB وC) التي تختلف بسعات دفعاتها العصبية من جهة وبسرعة انتقال الدفعة العصبية فيها من جهة أخرى.

أ- ألياف المجموعة (A): هي ألياف نخاعينيه، تتراوح أقطراها بين (3-20) ميكرون، وسرعة نقلها للتنبيه ما بين (15- 120) م/ثا، ومثالها الألياف العصبية المحركة والحسية للمحور الدماغي الشوكي، وتقسم هذه المجموعة بدورها إلى ألياف α وألياف β وألياف γ:

1- ألياف ألفا (α): وهي نخاعينيه كبيرة القطر، ومثالها ألياف الحس العضلي وحس اللمس، وحس الاهتزاز.

2- ألياف بيتا (β) وغاما (γ): وهي نخاعينيه متوسطة القطر ومثالها ألياف حس البرودة وحس الضغط واللمس البسيطين.

ب- ألياف المجموعة (B): وهي نخاعينيه صغيرة القطر، إذ تتراوح أقطارها بين (1-3) ميكرون وسرعة نقلها للتنبيه ما بين (3-15) م/ثا، ومثالها الألياف الودية قبل العقدية.

ج- ألياف المجموعة (C): وهي عديمة النخاعين صغيرة القطر، إذ تتراوح أقطارها بين (0.1-1) ميكرون وسرعة نقلها للتنبيه بين (0.5- 2.3) م/ثا، ومثالها ألياف حس الألم والسخونة والألياف الودية بعد العقدية.

نستنتج مما سبق وجود علاقة بين قطر الليف العصبي وعتبة التنبيه، فكلما ازداد القطر تناقصت العتبة، بدليل أن التنبيهات الضعيفة الشدة تنبه مجموعة الألياف (A)،

ولكن إذا كان المطلوب تفعيل جميع ألياف العصب فأنه يتوجب علينا تطبيق منبه قوي الشدة حتى تتفعل الألياف صغيرة القطر.

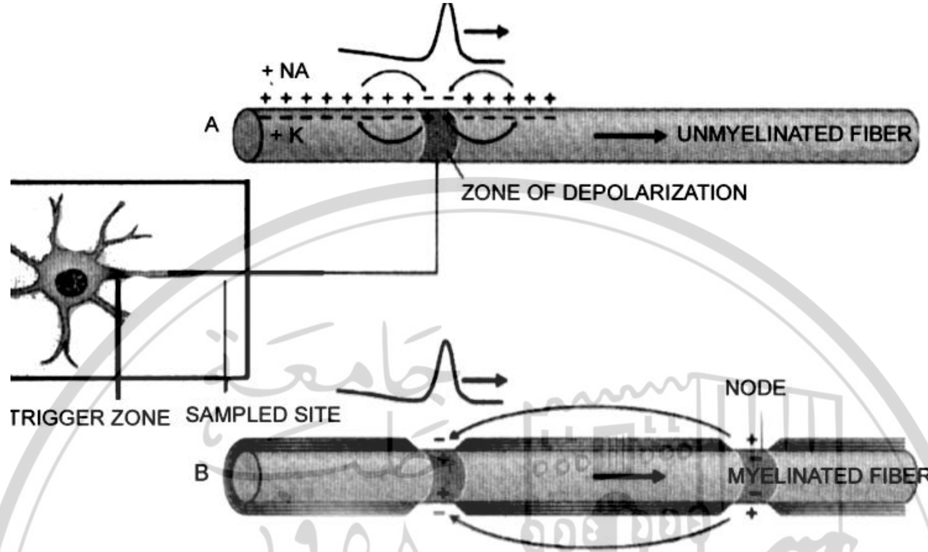
ب – خاصية الناقلية:

يتم انتقال الدفعات العصبية على طول الليف العصبي بشكل متدرج، بحيث يلعب كمون الفعل المتولد في نقطة ما من الليف نتيجة التنبيه في لحظة ما دوراً في تنبيه الجزء المجاور له في اللحظة التالية. وهكذا تنتشر الدفعة العصبية على طول الليف، كانتشار النار على طول فتيل مشبع بملح البارود. فعند نشوء أو عبور كمون فعل لمنطقة من الليف العصبي يصبح جزء الغشاء في تلك النقطة مستقطباً بشكل معاكس لاستقطاب الغشاء في أثناء الراحة، بمعنى أن الوسط الداخلي للغشاء في أثناء عبور كمون الفعل يكون موجباً مقارنة بالمناطق المجاورة التي تكون سالبة الشحنة، ويتشكل على أثر ذلك تيار كهربائي محلي يسري داخل الخلية من القطب الموجب إلى القطب السالب ويخترق الغشاء من الداخل إلى الخارج بالقرب من منطقة التنبيه. كما يتشكل في الوسط الخارجي الملامس للغشاء تيارات متشابهة بين القطب الموجب والسالب مكونة ما يشبه الحقل الكهربائي. ينتقل الحقل الكهربائي على طول المحور بالتدريج مع انتقال كمون الفعل باتجاه واحد، بدءاً من جسم الخلية وإلى نهايتها المحورية، لأن التيارات الخارجة المرافقة لانتقال كمون الفعل على طول الليف تعمل على تنبيه الجزء الموجود أمام منطقة التنبيه فقط، في حين يمر الجزء الخلفي لمكان عبور كمون الفعل في مرحلة عُصي تحول دون مرور كمونات فعل بالاتجاه المعاكس. وهذه الطريقة من النقل صفة مميزة للألياف عديمة النخاعين وتسمى نظرية الدارات المحلية، (الشكل رقم 73 – A).

أما في حالة الألياف النخاعينية فالكمونات تنتقل على شكل قفزات بسبب وجود غمد النخاعين، الذي يملك مقاومة كهربائية عالية لا تسمح بمرور التيارات الكهربائية، وبالتالي لا تتمكن التيارات الخارجية من عبور غشاء محور العصبون إلا في مستوى اختناقات رانفيه التي تكون خالية من هذا الغمد، (الشكل رقم 73–B).

وهكذا يعمل غمد النخاعين على الاقتصاد في عدد شوارد الصوديوم والبوتاسيوم المارة عبر غشاء المحور في أثناء انتقال كمون الفعل، الأمر الذي يساهم في توفير

الطاقة الاستقلابية المستخدمة في عمل المضخات الشاردية الضرورية لعودة الغشاء إلى وضع الراحة، كما يفسر قدرة هذه الألياف على نقل الدفعات العصبية بسرعة أكبر بست مرات من سرعة نقل الألياف عديمة النخاعين.



الشكل رقم (73): آلية نقل السيالة العصبية:

A – نظرية الدارات المحلية: حالة الألياف المجردة من الغمد النخاعيني.

B – نظرية النقل القفزي: حالة الألياف ذات الغمد النخاعيني

4- **النقل المشبكي Synaptic Transmission:**

أ- المشبك العصبي:

هو منطقة اتصال متمايزة بين غشائي خليتين عصبيتين يسمح لإحداهما بالتأثير في الأخرى. ويتألف المشبك العصبي من، (الشكل رقم **74**):

1- النهاية العصبية قبل المشبكية Presynaptic Neuron: ذلك الجزء من الخلية الذي يحتوي على حويصلات مملوءة بجزيئات الناقل العصبي، وعلى الجسيمات الكوندرية لتوليد الطاقة.

2- الفالق المشبكي Synaptic Cleft: تلك المسافة التي تفصل بين النهاية قبل المشبكية والنهاية بعد المشبكية.

3- النهاية العصبية بعد المشبكية postsynaptic Neuron: ذلك الجزء من الخلية العصبية الذي يرصع غشاؤه بمستقبلات من طبيعة بروتينات سكرية نوعية يرتبط معها الناقل العصبي المتحرر من حويصلات الخلية قبل المشبكية.

ب- أنواع المشابك العصبية:

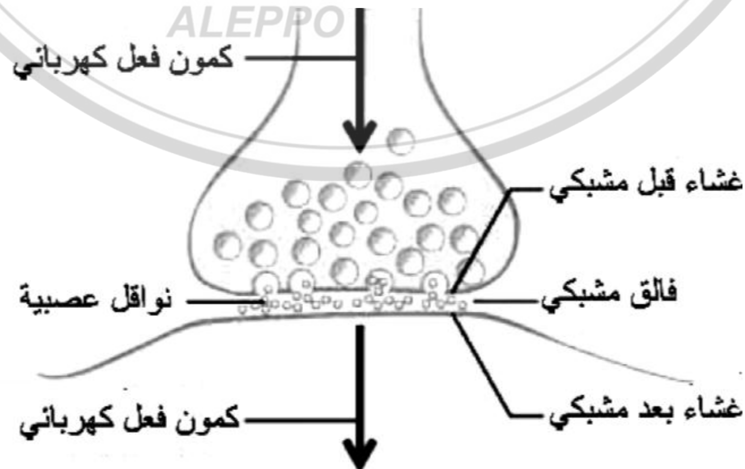
تصنف المشابك العصبية من الناحية التشريحية إلى:

- مشابك كهربائية: يتميز المشبك الكهربائي باقتراب غشائي الخليتين المتجاورتين (المسافة بينهما أقل من 10 نانو متر) والتي تتميز بمقاومة كهربائية ضعيفة تسمح بمرور التيارات الشاردية عبر الفوالق المشبكية مباشرة من الخلية قبل مشبكيه إلى الخلية بعد مشبكيه، كما هو الحال في القلب.
- مشابك كيميائية: يتميز هذا النوع من المشابك بابتعاد غشائي الخليتين المتجاورتين عن بعضهما بمسافة قدرها (30 نانو متر) والتي تتميز بمقاومة كهربائية كبيرة لا تسمح بمرور التيارات الشاردية بشكل مباشر من الخلية قبل المشبكية إلى الخلية بعد المشبكية، لذلك يسبب وصول الدفعات العصبية إلى النهايات المحورية إلى تحرير الناقل العصبي الموجود في الخلية قبل مشبكيه والذي يؤثر تأثيراً نوعياً في مستقبلات غشاء الخلية بعد المشبكية مؤدياً إلى تعديل ناقلية الشوارد وتشكيل كمونات بعد مشبكيه منبهة Excitatory postsynaptic potential (Epsp) أو بعد مشبكيه مثبطة Inhibitory postsynaptic potential (Ipsp).

ج- خصائص المشبك العصبي:

1- عمله كمحولة للطاقة: يحول الطاقة الكهربائية إلى كيميائية والكيميائية إلى كهربائية.

2- النقل باتجاه واحد: حيث يتم النقل دائماً من الخلية قبل المشبكية إلى الخلية بعد المشبكية.



الشكل (74): بنية المشبك العصبي

3- ظاهرة التأخير المشبكي: وسببها الزمن اللازم لتحرير الناقل العصبي وانتشاره في الفالق المشبكي وتأثيره في الخلية بعد المشبكية. ويقدر زمن التأخير المشبكي بـ 0.5 ثانية. وتفيد ظاهرة التأخير المشبكي في معرفة عدد المشابك الموجودة في قوس انعكاسية ما.

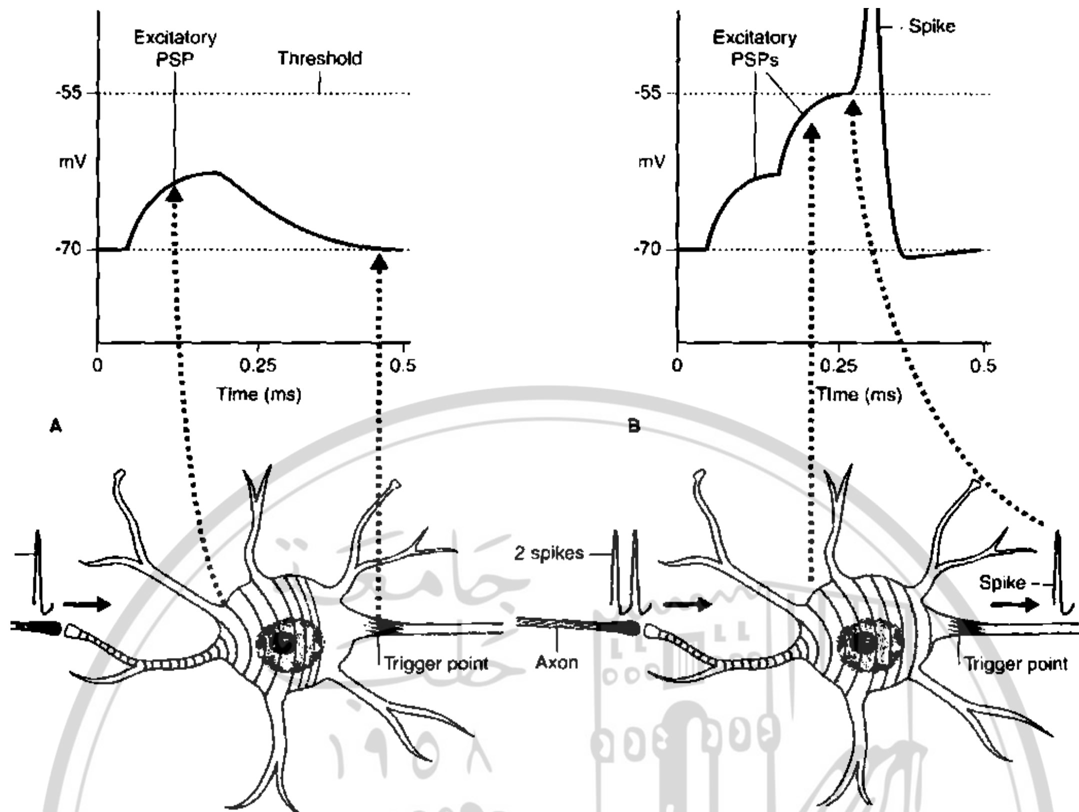
4- التعب العصبي: سببه استمرار الكمونات الواصلة إلى المشبك فترة طويلة من الزمن، الأمر الذي يدفع الخلية بعد المشبكية إلى الاستجابة بشكل كبير في بداية الأمر ثم التراجع تدريجياً مع مرور الزمن. هذا التراجع سببه استنزاف الناقل العصبي في النهايات قبل المشبكية مع طول الفترة الزمنية للتنبيه.

د- آلية التراكم (الجمع) Summation:

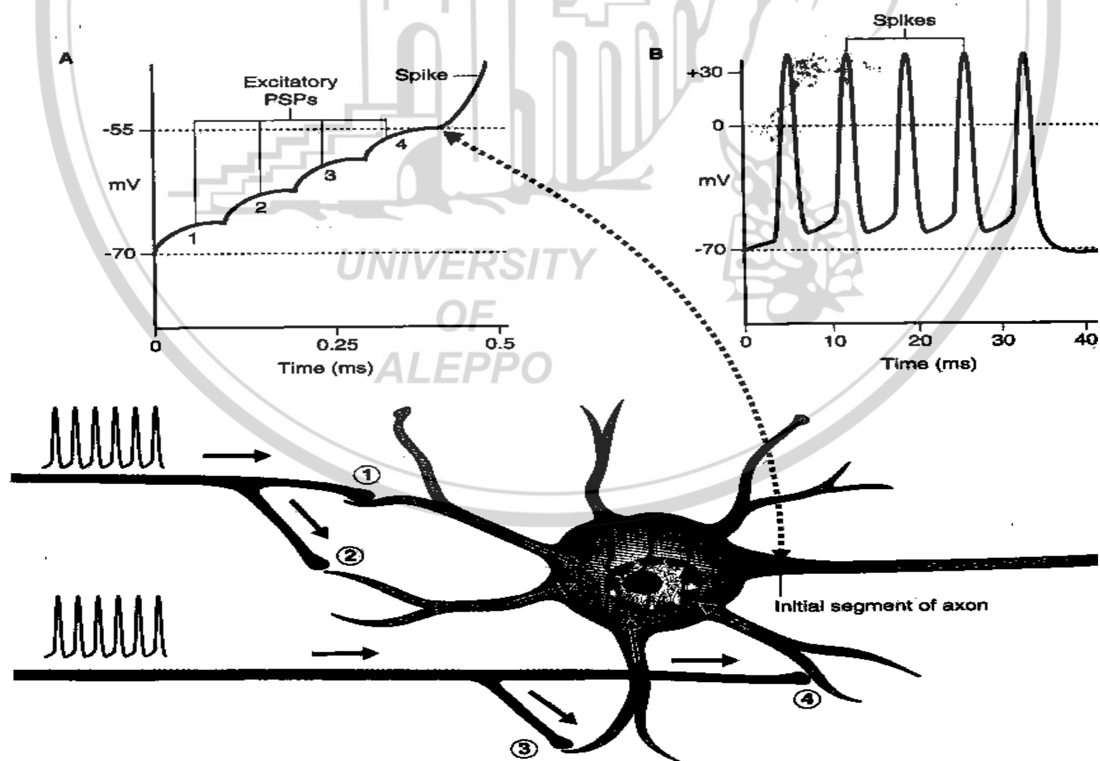
تسبب الكمية القليلة من الناقل المحررة في الفالق المشبكي في حدوث كمونات موضعية غير قادرة على تشكيل كمون الفعل، فمن أجل الوصول إلى العتبة الحدية لتشكيل كمون الفعل في الخلية بعد مشبكيه يجب تراكم الكمونات الموضعية ، ويحدث التراكم بطريقتين:

- التراكم الزماني Temporal Summation: يعني أن يصل إلى الخلية بعد المشبكية أكثر من كمون موضعي قادم من فالق مشبكي واحد. أي إن الناقل العصبي المحرر من نهاية الليف قبل المشبكي يتراكم في الفالق المشبكي ويصل بالتدريج إلى المنطقة نفسها من الغشاء بعد المشبكي مسبباً في إطلاق كمون بعد مشبكي موضعي، يتزايد هذا الكمون وصولاً إلى العتبة الحدية التي ينفجر عندها كمون الفعل في الخلية بعد المشبكية، (الشكل رقم 75).

- التراكم المكاني Spatial Summation: يعني أن يصل إلى الخلية بعد المشبكية عدد من الكمونات الموضعية الواردة إليها من أكثر من خلية عصبية قبل مشبكيه. أي جميع الخلايا قبل المشبكية تحرر مادة الناقل العصبي في وقت واحد. تراكم جزيئات الناقل وبالتدريج على النقطة نفسها من الغشاء يسبب بإطلاق كمونات بعد مشبكيه موضعية، إذا ما وصلت هذه الكمونات إلى العتبة الحدية ينفجر عندها كمون الفعل في الخلية بعد المشبكية، (الشكل رقم 76).



الشكل رقم (75): التراكم الزماني



الشكل رقم (76): التراكم المكاني

5- **النواقل العصبية:**

هي مواد كيميائية تصنع إما في النهايات العصبية أو في جسم الخلية العصبية، وتخزن فيما بعد في حويصلات تتوضع في النهايات العصبية. وقد قسمت النواقل العصبية إلى مجموعتين مختلفتين:

1- مجموعة النواقل صغيرة الجزيء سريعة التأثير: تصنع هذه النواقل في النهايات العصبية لتقوم بالمهام التي تتطلب استجابات سريعة، وينضم إليها كُلّ مما يلي:

أ- مجموعة الأستيل كولينAcetylcholine (ach) :

يعد الأستيل كولين الناقل العصبي في جميع الألياف الحسية والحركية، والألياف نظيرة الودية قبل وبعد العقدية، والألياف الودية قبل العقدية، وفي مستوى اللوحة المحركة في العضلات الهيكلية. يرتبط الأستيل كولين بالمستقبلة النوعية الموجودة على العضو المعصب به، (الشكل رقم 77).

يتركب الأستيل كولين في النهاية قبل المشبكية بوجود أنزيم أستيل كولين إستيراز من اجتماع كل من: أستيل تميم الأنزيم (A) الذي يتشكل من استقلاب السكريات في الجسيمات الكوندرية، والكولين الذي يؤخذ عن طريق الغذاء. ويخزن الأستيل كولين في حويصلات إفرازية في النهايات العصبية.

ينشطر الأستيل كولين في الفالق المشبكي بعد قيامه بوظيفته تحت تأثير أنزيم كوليستراز إلى أستات وكولين غير الفعالين. تنقل هذه المركبات إلى الخلية قبل المشبكية ليشاركا في اصطناع أستيل كولين جديد.

ب – مجموعة النواقل الأمينية: وتضم كلاً من:

الدوبامين Dopamine، والنورابينفرين Norepinephrine، والإبينفرين Epinephrine والسيروتونين Serotonin.

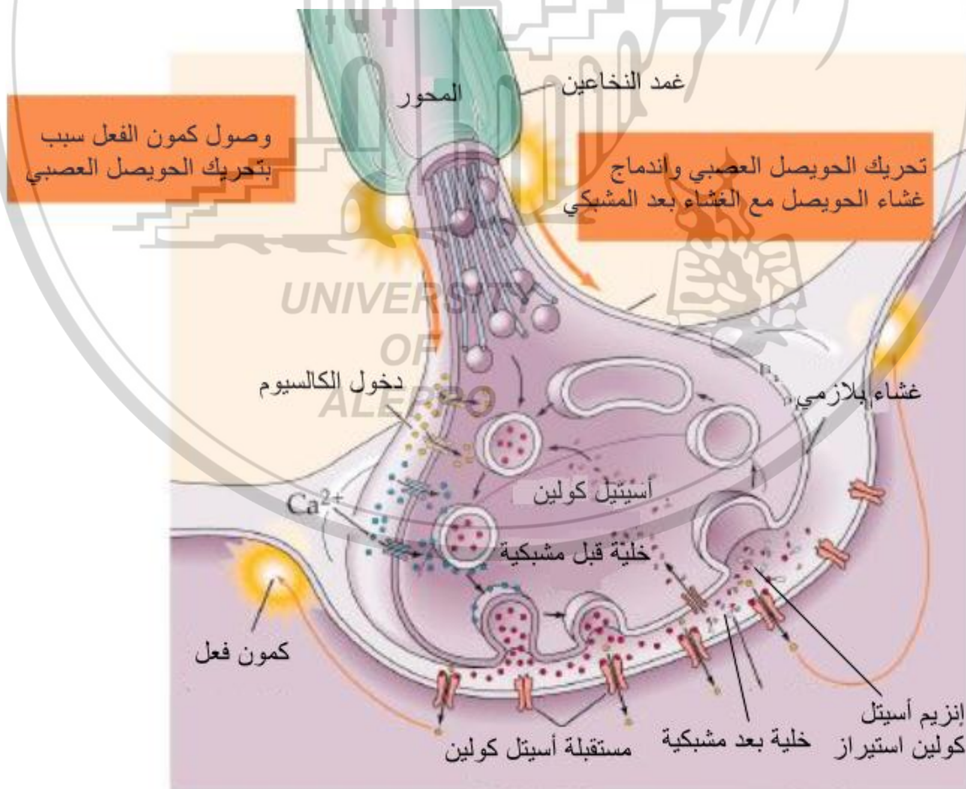
يتركب النور إبينفرين في النهايات العصبية من حمض أميني فينيل آلانين الذي يمكن الحصول عليه من الطعام. ويتحول فينيل آلانين إلى تيروزين، ومن ثم يتحول التيروزين بدوره إلى دوبا، والدوبا تتحول إلى دوبامين، والدوبامين يتحول إلى نورإبنفرين والنورإبنفرين يتحول إلى إبينفرين.

أما الدوبامين فيتركب من حمض أميني تيروزين، بينما يتركب السيروتونين من حمض أميني التربتوفان.

ج- مجموعة الأحماض الأمينية: وينضم إلى هذه المجموعة كلٌ من: الغليسين وهو ناقل مثبط في مستوى مشابك النخاع الشوكي، وأمينو حمض الزبدة الذي تفرزه الأجسام المخططة هو ناقل مثبط في مستوى المادة السوداء.

2- مجموعة النواقل كبيرة الجزيء بطيئة التأثير: تصنع هذه النواقل في جسم الخلية العصبية وتخزن ضمن حويصلات في النهايات العصبية، وينضم إلى هذه المجموعة كُلّ من: الأنكيفالين المثبط لسيالة الاحساسات المؤلمة ، والـSubstances P المثبطة لسيالة حس الالم البطيء.

وبما أن تركيب هذه النواقل صعب لذلك تفرز بكميات قليلة ولكن فعاليتها قوية ومديدة حيث تستمر هذه الفعالية عدة أيام مثل التغير طويل الأمد في عدد المستقبلات المثيرة أو المثبطة أو تعطيل قنوات الكالسيوم لفترة طويلة من الزمن.



الشكل رقم (77): ألية عمل الأستيل كولين وتشكيل كمونات الفعل

6- انتقال التنبيه من خلية لأخرى:

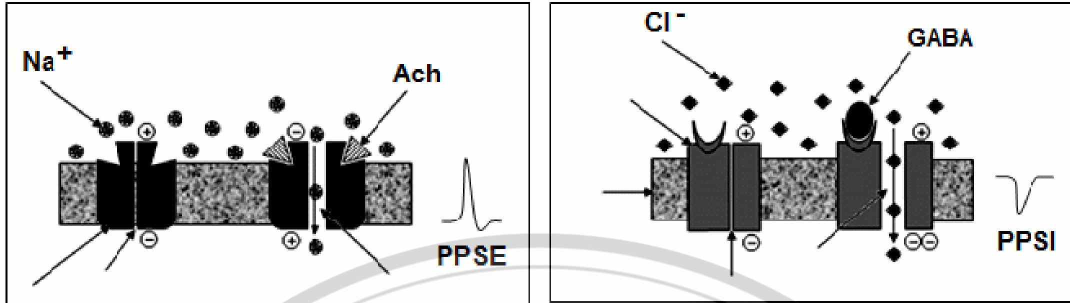
لاحظنا أن المحاور في الجملة العصبية تقوم بوظيفة نقل الأوامر بدءاً من الأقسام المستقبلة وانتهاءً بأقسام التحويل والنشر الواقعة في نهايات المحور أو تفرعات جانبية منه. أما عبور الأوامر من خلية إلى أخرى فتنظمه آلية تعتمد بشكل أساسي على الناقل العصبي الذي ينحصر عمله في المشبك العصبي. وبما أن كمون الراحة لغشاء الخلية بعد مشبكيه يساوي (– **65**) ميلي فولت، الأمر الذي يفسر سرعة التنبيه بسبب تراجع كمون الراحة إلى قيمة أقل سلبية.

يسبب وصول كمون الفعل إلى النهايات المحورية زيادة في نفاذية غشاء القسم الانتهائي من المحور لشاردة الكالسيوم. تنشط شوارد الكالسيوم أنزيمات تحلمه جزئيات ATP، الأمر الذي يسبب تحريك الحويصلات نحو الفالق المشبكي واندماج أغشيتها بغشاء الخلية قبل المشبكية وتفريغ محتوياتها من الناقل العصبي في الفالق المشبكي.

تتحرك جزيئات الناقل العصبي ضمن الفالق المشبكي وباتجاه الغشاء بعد المشبكي لترتبط بمستقبلات نوعية موجودة على سطحه، ويتشكل هنا معقد الناقل والمستقبل الذي يغير من نفوذية الغشاء بعد المشبكي، إذ يسبب هذا الارتباط بفتح قنوات التسريب (البطيئة) للصوديوم – الكالسيوم مما يسبب في تحرك شاردي يتناول دخول للصوديوم وخروج للبوتاسيوم وتشكيل كمونات بعد مشبكيه ضئيلة. تراكم هذه الكمونات يسبب بتزايد هبوط الاستقطاب تدريجياً حتى سوية (– **60**) ميلي فولت، وهو المستوى الذي تنفتح عنده قنوات الصوديوم التفعيلية وتنغلق قنوات الصوديوم التعطيلية، الأمر الذي يؤدي إلى حدوث زوال استقطاب وتشكيل كمون فعل عند الحد الفاصل بين القسم المستقبل والقسم الناقل من العصبون، (الشكل رقم **78**).

أما فيما يخص نقل الدفعات العصبية في مشبك مثبط، فالحويصلات المشبكية تتحرك بتأثير كمونات الفعل في الخلية قبل المشبكية، ويتحرر الناقل العصبي في الفالق المشبكي، ويتشكل هنا أيضاً معقد الناقل والمستقبل الذي يغير من نفوذية الغشاء ما بعد المشبكي. إلا أن التحرك الشاردي في هذه الحالة يتناول البوتاسيوم والكلور فقط مما يؤدي إلى ما يسمى بفرط استقطاب، ويسمى الكمون الحاصل بالكمون المثبط بعد المشبكي،

الذي يحول دون تشكيل كمون فعل عند الحد الفاصل بين القسم المستقبل والقسم الناقل في العصبون (الشكل رقم **78**).



الشكل رقم (78): المشابك التنبيهية والتثبيطية




جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل السابع
فيزيولوجيا الحس
Senses Physiology

أولاً -الحس الجسدي Somatic sense:

ويشمل جميع الإحساسات الجلدية السطحية حيث تقوم المستقبلات الجلدية بتحويل التغيرات المحيطية إلى كمونات فعل تسري عبر الألياف الحسية إلى الفص الجداري حيث مركز الإحساسات الجسدية.

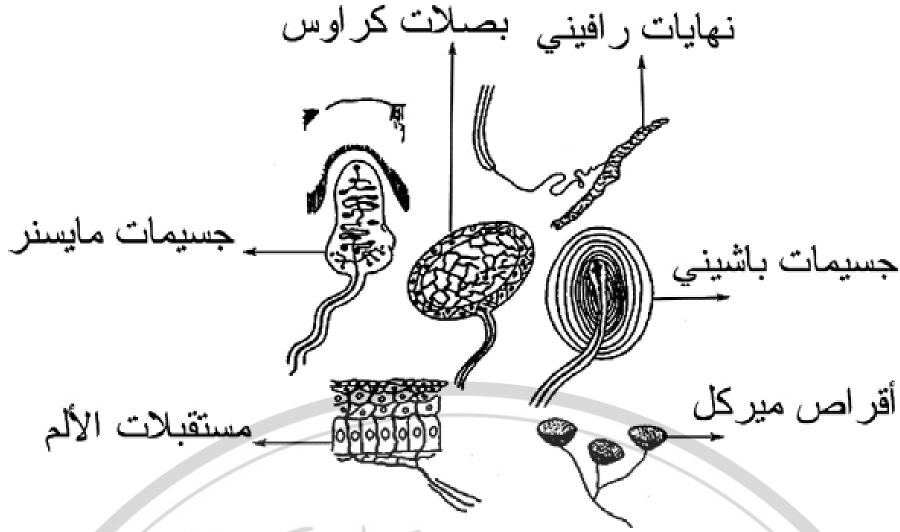
أ- المستقبلات الجلدية:

هي مستقبلات أولية وتتمثل بنهايات الألياف العصبية التي تكون إما حرة أو أنها محاطة بغلاف من النسيج الضام. ويتوضع بعض هذه المستقبلات في طبقات الجلد السطحية وبعضها الأخر يستقر في الطبقات العميقة من الجلد.

وينضم إلى المستقبلات الجلدية، (الشكل رقم 79) كلاً مما يلي:

1- جسيم مايسنر Meissner Corpuscle: عبارة عن نهايات عصبية متطاولة ذات محفظة وتلاؤمها سريع. تتوضع في الأجزاء غير المشعرة من الجلد خاصة في الأنامل والشفاه، وظيفتها تحسس الأجسام الخفيفة الموضوعة على سطح الجلد، ويعزى لها دور في قدرة الشخص على كشف الخصائص الفراغية للأشياء الملموسة بدون الاستعانة بالبصر.

2 - أقراص ميركل Merkel's Disks: عبارة عن نهايات عصبية منتهية بأقراص وتلاؤمها بطيء، وظيفتها توليد إشارات ثابتة تسمح للشخص بتعيين حالة الأجسام الملامسة للجلد باستمرار .



الشكل رقم (79) أنواع المستقبلات الجلدية

3 – جسيم باشيني Pacinian Corpuscle: عبارة عن نهايات عصبية ذات محفظة تتوضع في طبقة الأدمة وعميقاً في النسج. تخصصت جسيمات باشيني للاستجابة على اللمسات الجامدة والضغط العالي الواقع على الجلد. فهي تتنبه بالحركات السريعة جداً لان تلاؤمها سريع فهي مهمة لكشف اهتزاز النسج.

4- الشعرة اللمسية: وهي مستقبلة سريعة التلاؤم. تسبب حركة الشعرة على سطح الجسم تنبيه الليف العصبي الذي يلتف حول قاعدتها. الأمر الذي يفسر دورها في كشف حركة الأشياء على سطح الجسم .

5- نهايات روفيني Ruffian's End Organs للسخونة: تتوضع هذه المستقبلات في الأقسام العميقة من الجلد وفي النسج العميقة. تتنبه هذه المستقبلات بدرجات الحرارة الأعلى من درجة حرارة الجسم. غزارتها في الأنسجة العميقة تدل على أن خطر الحرارة المرتفعة مصدره داخلي.

6- بصلات كرواس Krause's End Bulbs للبرودة: تتوضع ما بين البشرة والأدمة، وتتنبه بدرجات حرارة أخفض من درجة حرارة الجسم. غزارتها على سطح الجسم يؤكد أن خطر البرودة مصدره خارجي .

7- مستقبلات الألم Pain Receptors: عبارة عن نهايات عصبية حرة Free Naked Nerve Ending، تكثر هذه المستقبلات في الطبقات السطحية من الجلد وذلك بمعدل

يصل إلى (200) مستقبلة في (١) سم^2، بينما يقل عددها في الأحشاء والأعضاء الداخلية مثل السمحاق وجدر الشرايين والسطوح المفصلية. ومستقبلات الألم هي مستقبلات بطيئة التكيف غير نوعية وظيفتها الكشف عن موضع الأذية وقوتها.

ب- **أنواع الحس الجسدي:**

ويضم الحس الجسدي كلاً من الإحساسات الجلدية السطحية مثل (اللمس والضغط والحرارة والألم) والإحساسات العميقة (الاهتزاز والوضعة).

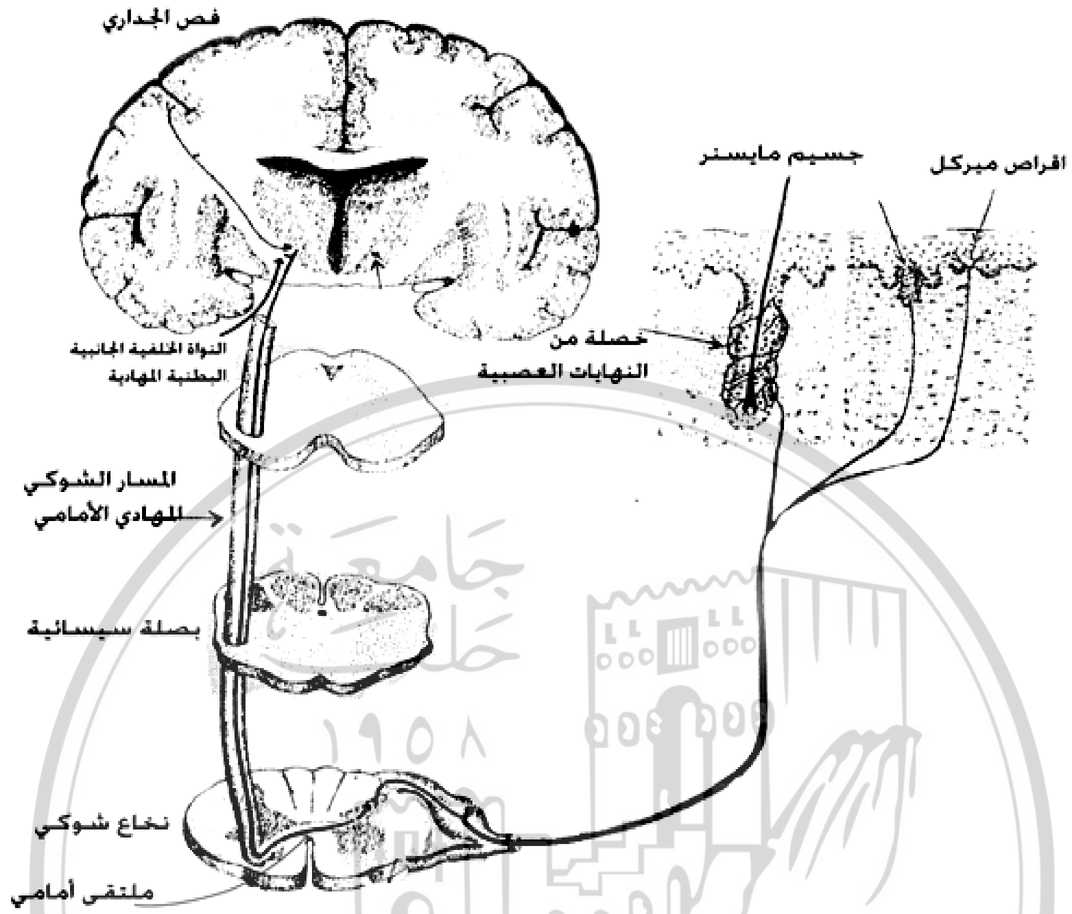
1-الإحساسات الجلدية السطحية:

أ-حس اللمس والضغط البسيطين: وهي تشمل الإحساسات التي لا تحتاج إلى تحديد دقيق لمكان المنبه على سطح الجلد حيث يتم إحساس الأشياء دون التعرف إلى هوية الشيء الملموس. ويمكن الإحساس باللمس والضغط اللمسي البسيطين عن طريق تمسيد الجلد أو الضغط الخفيف عليه. ويتميز حس اللمس بأنه نقطي وهو يرتبط بالدرجة الاولى بجسيمات مايسنر وأقراص ميركل ومستقبلات الشعرة اللمسية. أما حس اللمسات الجامدة والضغط العالي الواقع على الجلد فيعود إلى جسيمات باشيني. يتميز حس المس الجامد والضغط العالي بأنه بقعي، بمعنى أن ساحة المستقبل الواحد يمكن أن تتناول مساحة من الجلد أكبر من ساحة إحساس مستقبل اللمس الواحد، ويرتبط الأمر بغزارة المستقبلات في مناطق الجسم. ويفيد حس اللمس والضغط البسيطين في التوجيه المكاني للحيوان.

يبدأ مسلك إحساسات حس اللمس و الضغط البسيطين من جسيمات مايسنر وأقراص ميركل ثم النخاع الشوكي القرن الخلفي ،ثم العبور إلى الحبل الأمامي للنخاع الشوكي في الجانب المقابل، وعن طريق الحزمة الشوكية المهادية الأمامية Ventral Spino-Thalamic Bundle تنقل الإحساسات إلى الفص الجداري Parietal lobe حيث مركز الإحساسات الجسدي، (الشكل رقم80).

ب- حس اللمس المركب: ويشمل الإحساسات التالية :

1- الحس المجسم: ويتضمن الإحساسات التي تحتاج إلى تحديد دقيق لمكان المنبه على سطح الجلد حيث يتم التعرف إلى هوية الأشياء دون الاستعانة بحاسة البصر.



الشكل رقم (80) مسلك حس اللمس والضغط البسيطين

2- حس التمييز بين نقطتين مختلفتين: أي استطاعة الشخص إحساساً مضخماً عند تنبيه نقطتين منفصلتين في رؤوس الأصابع حيث لا تقل المسافة الفاصلة بينهما عن (1- 2) ملم، بينما تصل هذه المسافة حتى (70) ملم في الظهر. و يعود السبب في ذلك إلى الاختلاف بعدد مستقبلات اللمس بين النقطتين في الجسم.

3- حس الاهتزاز: ينشا حس الاهتزاز عن منبه ذي ضغط متقطع و تواتر عالٍ. إذا كان التواتر يتراوح بين (2-80) دورة /ثا تتنبه له مستقبلات مايسنر، بينما إذا كان التواتر يتراوح بين (82-800) دورة/ثا تتنبه له جسيمات باشيني. ونستطيع اختبار هذا الإحساس عن طريق وضع قاعدة شوكة رنانة (تهتز بتواتر معين) على أي نتوء عظمي في الجسم وذلك من أجل تضخيم هذه الإشارة ومنعها من التخامد. تولد الرنانة اهتزازات تترجمها وتحولها جسيمات مايسنر أو باشيني إلى دفعات تنقل عن طريق منظومة الحبل الخلفي إلى باحات الحس الجسمي في القشرة المخية.

يبدأ المسلك العصبي لحس اللمس المركب من المستقبلات الجلدية (أقراص ميركل Markel's Corpuscles– وجسيمات مايسنر Mesmer's Corpuscles) والمستقبلات العميقة (المغزل العضلي وعضو كولجي الوتري)، ثم الجذور الخلفية للنخاع الشوكي مروراً بمادته البيضاء عبر الحبل الخلفي إلى نواتي الرشيقة والوتدية المتماثلة الجانب في البصلة السيسائية Medulla Oblongata. ومن هاتين النواتين ترسل محاور تتصالب قبل أن تبلغ المهاد البصري Thalamus. وأخيراً ينطلق من المهاد البصري إكليل مشع نحو القشرة المخية ليرتسم على الباحات الحسية الجسمية الأولية الموجودة في الفص الجداري Parietal lobe. وهكذا يتمثل نصف الجسم على نصف الكرة المخية في الجانب المقابل، (الشكل رقم 81).

الشكل رقم (81) مسلك حس اللمس المركب

تقوم الحزمة الوتدية الرشيقة بنقل الإحساسات الشعورية التي من خلالها تتم معرفة الوضع المكاني الفراغي للأطراف، وجهة حركة هذه الأطراف. والدليل على ذلك الإنسان المصاب بمرض السهام نتيجة تخريب الحبال الخلفية في النخاع الشوكي، إنه على الرغم من احتفاظ العضلات بمقدراتها على الحركة فإن السير يكون عنده غير متناسق نتيجة

اضطرابات في الأحاسيس. ومن أعراض تخريب الحزمة الوتدية الرشيقة أيضاً أن المريض لا يستطيع أن يعرف إذا كانت نقطتان لمستا جلده في وقت واحد، وهذا ما يسمى بعمه التجسيم Aster Gnosis. وأيضاً تكون علامة رومبرج (ترنح) موجبة أي يكون هناك درجة عالية من تمايل جسمه عندما يغلق المريض عينيه، علماً أن مريض الترنح يستطيع أن يحفظ توازنه بصورة أفضل عندما تكون عيناه مفتوحتين.

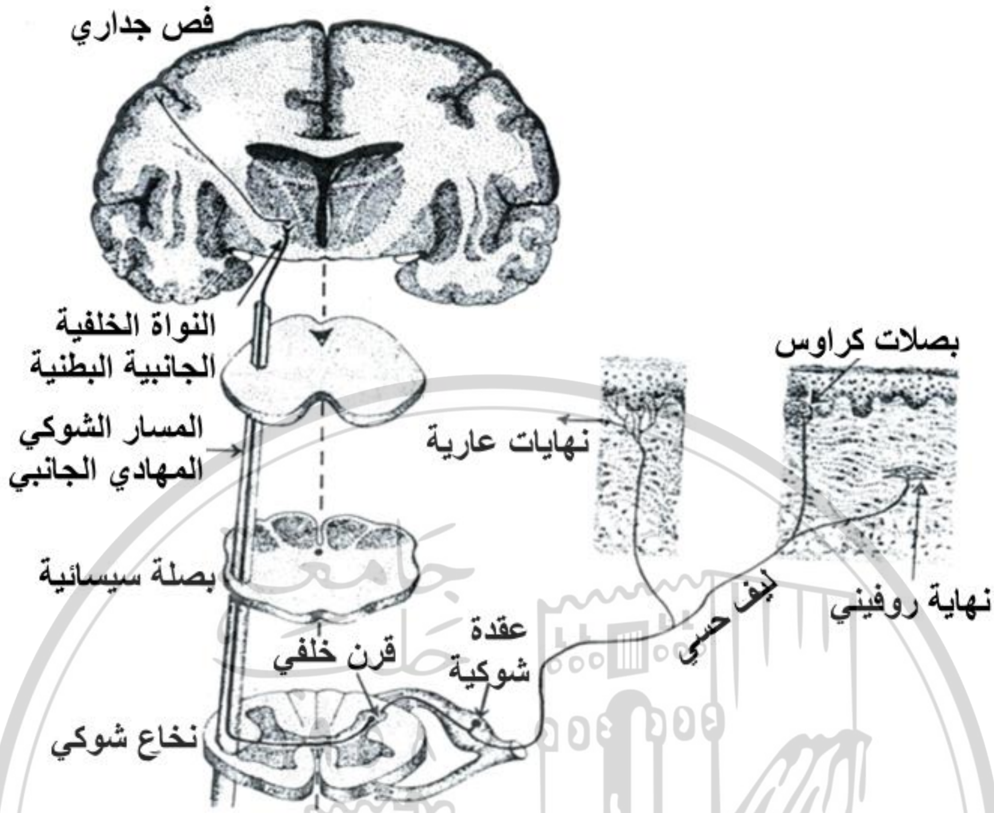
ج- الحس الحروري: يستطيع الإنسان الشعور بمختلف درجات الحرارة المنخفضة والعالية وذلك عن طريق المستقبلات الحرارية (نهايات روفيني و بصلات كرواس).

ترسل الألياف الواردة لبصلات كرواس دفعات توتريه عندما تكون درجة حرارة الجلد أقل من(19) م°، وترسل الألياف الواردة لنهايات روفيني دفعات توتريه عندما تكون درجة حرارة الجلد أعلى من (31) م°. علماً أن للجلد منطقة محايدة تجاه حرارة الوسط المحيط تقع بين (20-30) م° لا يوجد فيها إحساس دائم بحرارة الجسم، أما بالنسبة لدرجات الحرارة الأدنى والأعلى من ذلك فإننا نجد إحساساً دائماً بالبرودة أو بالسخونة. وعند زيادة الحرارة عن (45) م° يسجل الجلد إحساساً بالألم أكثر منه بالسخونة.

يبدأ مسلك حس الحرارة من نهايات روفيني أو بصلات كرواس إلى النخاع الشوكي القرن الخلفي ثم عبور المادة الرمادية للنخاع الشوكي وصولاً إلى الحبل الجانبي للنخاع الشوكي في الجانب المقابل، وعن طريق الحزمة الشوكية المهادية الجانبية lateral Spino-Thalamic Bundle تنقل الإحساسات إلى الفص الجداري Parietal lobe حيث مركز الإحساسات الحرارية، (الشكل رقم 82).

د- حس الألم :ينتج حس الألم عن تنبيه النهايات العصبية الحرة المنتشرة في كل أنحاء الجسم وذلك من خلال تأثير عدة أنماط من المنبهات التي تهدد الجسم بالأذى، وقد تكون هذه المنبهات آلية (جرح أو خدش) أو كيميائية مثل (حمض) أو حرارية. كما يمكن للكثير من المواد الكيميائية أن تثير حس الألم منها الهيستامين وشوارد البوتاسيوم.

بالرغم من أن الشعور بالألم كمون مزعج للإنسان فله أهمية وقائية كبيرة لأنه يدل على وجود أذية نسيجية وبالتالي يدفع الجسم للقيام بأعمال الترميم والإصلاح.



الشكل رقم (82): مسلك حس الحرارة والألم

يبدأ مسلك حس الألم من النهايات العصبية الحرة إلى النخاع الشوكي القرن الخلفي، ثم عبور المادة الرمادية للنخاع الشوكي وصولاً إلى الحبل الجانبي للنخاع الشوكي في الجانب المقابل، وعن طريق الحزمة الشوكية المهادية الجانبية lateral Spino-Thalamic Bundle تنقل الإحساسات إلى الفص الجداري Parietal lobe حيث مركز الإحساسات الحرارية، الشكل رقم (82).

تحمل الألياف العصبية الخاصة بحس الألم المعلومات إلى النخاع الشوكي عن طريق تحريرها ناقل عصبي يدعى Substance P في سوية المشابك العصبية في النخاع الشوكي . وعندما يصبح الشخص مدركاً لوجود الأذى يعمد فيزيولوجياً إلى الحد من شدته ويعود ذلك جزئياً إلى تدخل التشكيل الشبكي في الدماغ في التحكم بمعدل استثارة الاحاسيس المرسلة إلى القشرة المخية أو إلغائها وذلك من خلال تفعيل جملة تسكين الألم التي تفرز مواد عصبية يمكنها أن تقلل كمية المادة (ب) المتحررة في سوية المشابك العصبية لمسلك حس الألم، وذلك بتأثيرها في النهايات العصبية قبل مشبكيه لعصبونات

حس الألم وتمنعها من إفرازها، وبالتالي تخفف من إرسالها المعلومات إلى القشرة المخية، وتتألف جملة تسكين الألم من:

1- الباحة السنجابية حول قناة سلفيوس في الدماغ المتوسط وتفرز الأنكيفالين.

2- نوى الرفاء العظمى الموجودة في القسم السفلي من الجسر والعلوي من البصلة وتفرز السيروتونين.

3- خلايا متوضعة في القرون الخلفية للنخاع الشوكي وتفرز الغليسين.

2- الإحساسات العميقة:

ينتمي إلى هذا النمط من المستقبلات كل من مستقبلات الحس العضلي المتمثلة بالمغازل العضلية التي توفر معلومات عن طول العضلة وتوترها، ومستقبلات الحس الوتري المتمثلة بأعضاء كولجي الوترية، التي تكتشف توتر العضلة، وأعضاء روفيني الانتهائية في المفاصل التي توفر معلومات عن حركة الأعضاء حول المفاصل أثناء ثني الأطراف ومدها وضمها وتباعدها. وبهذا توفر المستقبلات العميقة للحيوان معلومات حول وضع أجزاء الجسم الفراغية بالنسبة لاتجاه الجاذبية الأرضية وهي تشارك مستقبلات الجلد في التحكم غير الواعي لوضع الجسم في أثناء السكون والحركة .

يتكون المغزل العضلي Muscle Spindle من (3-12) ليفاً عضلياً داخل المغزل ذات نهاية مستدقة ترتبط بالألياف العضلية الهيكلية خارج المغزل المحيطة بها والتي تمثل الوحدات التقلصية في العضلة، (الشكل رقم 83).

يوجد داخل المغزل نوعان من الألياف:

أ- ألياف ذات محفظة نووية: تتوضع النوى ضمن كيس يتوضع في المنطقة المركزية.

ب- ألياف ذات سلاسل نووية تصطف فيها النوى على شكل سلاسل ممتدة على طول المستقبلة.

وتحاط الألياف داخل المغزل بنوعين من الألياف الحسية:

1- النهاية الأولية Primary End أو (الحلزونية): تعصب النهاية الأولية الألياف ذات المحفظة النووية وتنقل الدفعات العصبية من هذه النهايات بواسطة الألياف من نمط

A α وهي مسؤولة عن الاستجابة السكونية Static Response والحركية Dynamic Response.

2- النهاية الثانوية Secondary End أو(العنقودية): وهي تمثل ليفاً حسياً أصغر من النهاية الأولية، تتوضع على جانبي المستقبلة الأولية، وتنقل الدفعات العصبية بوساطة ألياف من نمط A γ وهي مسؤولة عن الاستجابة السكونية Static Response.

أما بالنسبة للتعصيب: فالألياف الواردة التي تنقل الدفعات العصبية الناتجة عن تبدل طول العضلة تدخل النخاع الشوكي مع الجذور الخلفية وتتشابك مع الألياف الحركية دون وجود عصبون بيني. أما الألياف الحركية الصادرة فهي نوعان:

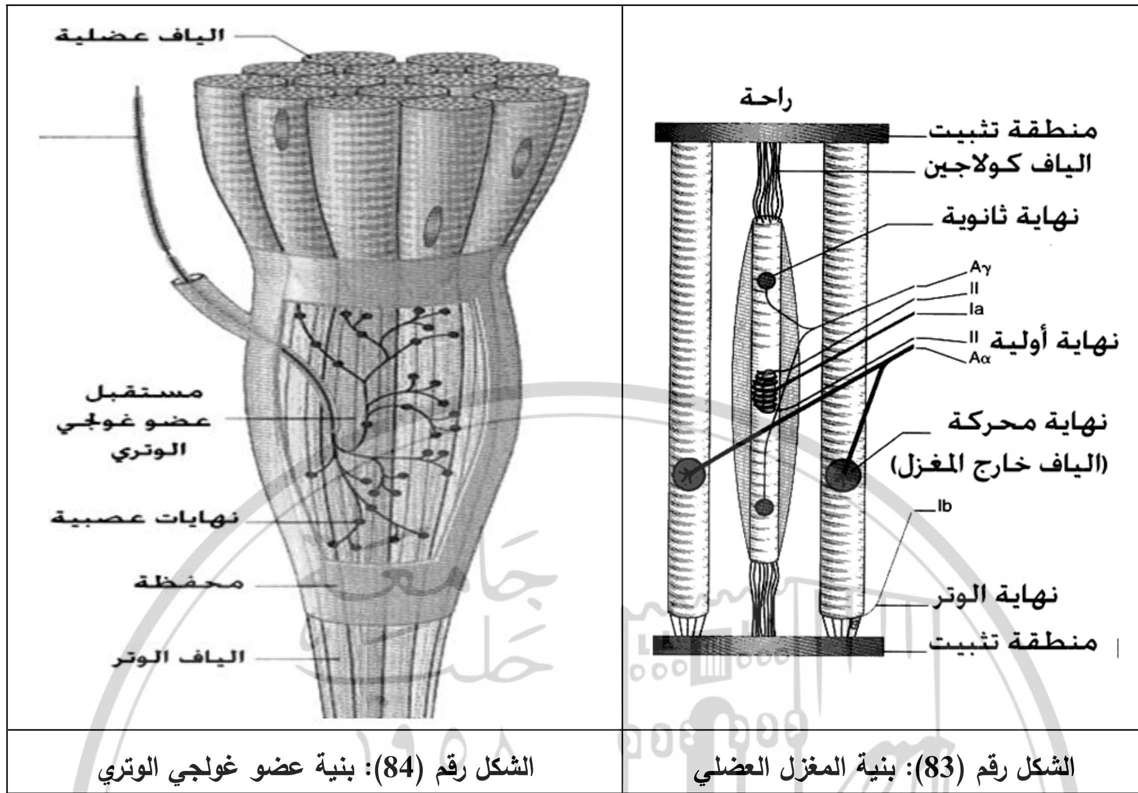
أ- ألياف حركية A α وتعصب الألياف خارج المغزل.

ب- ألياف حركية من نمط A γ وتعصب الألياف العضلية داخل المغزل.

بما أن العضلة محصورة بين وترين فهي تبقى مشدودة في الحالة السوية وبالتالي تنبه المغزل بشكل مستمر، فالمغزل العضلي من نمط المستقبلة المقوية Tonic.R التي تقوم بإرسال الدفعات العصبية بشكل مستمر حتى وقت الراحة. ففي وقت الراحة تتنبه الألياف ذات السلسلة النووية وبناءً على ذلك تقوم كل من النهايتين الأولية والثانوية ببث دفعات عصبية مستمرة وتدعى مثل هذه الاستجابة السكونية Static Response. ويرتفع تواتر الدفعات العصبية كلما تعرض الجزء المستقبل لأي شد أو تمدد في طوله، بينما ينقص تواتر الدفعات العصبية كلما خفت شدة التوتر أو قصر طول المغزل.

أما أعضاء غولجي الوتري Tendon Reflex فهي عبارة عن مستقبلات حسية ذات محفظة تتوضع بين أوتار العضلات، حيث تمر الألياف الوترية ضمن المستقبلات، وهي من نمط المستقبلات الطورية Phasic. R، وتنقل الدفعات العصبية من عضو غولجي ألياف عصبية من نمط Aα ، (الشكل رقم 84). تتنبه هذه المستقبلات بالتوتر الذي تتعرض له الألياف الوترية.

نتيجة تقلص العضلة حيث تقوم بإرسال دفعات عصبية إلى العصبونات المحركة في النخاع الشوكي لإحداث تثبيط انعكاسي لتمدد العضلة العنيف. وبهذا تلعب دور في المحافظة على سلامة العضلة وحماية أليافها من التمزق.



الشكل رقم (84): بنية عضو غولجي الوتري

الشكل رقم (83): بنية المغزل العضلي

ثانياً-الحس الكيميائي Chemical Sense :

يعد الحس الكيميائي من أكثر الحواس انتشاراً في العالم الحيواني. فهو يساهم في توجيه سلوك الحيوانات، إذ تعتمد عليه في البحث عن الغذاء والكشف عن جاهزيتها للتزاوج وكشف الأعداء وكذلك التخاطب فيما بين أفراد الجماعة الواحدة. وهناك نوعان من المستقبلات الكيميائية: داخلية وخارجية.

أ- المستقبلات الكيميائية الداخلية: وتخدم الإنسان في عمليات نقل المعلومات ضمن الجسم كالمستقبلات الهرمونية أو أنها تساهم في تنظيم ثوابت الوسط الداخلي للجسم وتنظيم الوظائف الفيزيولوجية كالتنفس والإطراح والدوران، وذلك عن طريق كشفها لتغيرات الضغط الحلولي ودرجة الحموضة، وتركيز غاز الأكسجين وثاني أوكسيد الكربون، وإعلام المراكز العصبية المعنية بآليات التنظيم التي تستجيب بأفعال انعكاسية، وذلك بإرسال الأوامر إلى الفاعلات لتنفيذ الاستجابة المناسبة.

ب- المستقبلات الكيميائية الخارجية: وتضم مستقبلات الشم والذوق حيث تخدم في تعريف الإنسان على نوعية الغذاء وطعمه من جهة، وتنظيم الوظائف الانفعالية والعاطفية من جهة أخرى.

فأعضاء الشم عبارة عن خلايا حسية أولية تتوضع في تجويف الحفرتين الأنفيتين، بينما أعضاء التذوق عبارة عن خلايا حسية ثانوية تشكل مع خلايا داعمة ما يعرف بالبراعم الذوقية Taste Buds والتي تتوضع على اللسان والتجويف الفموي البلعومي.

تترافق الفروق التشريحية بين أعضاء الشم وأعضاء التذوق بفروق فيزيولوجية، فعتبة تنبيه المستقبلات الذوقية أعلى بكثير من عتبة تنبيه المستقبلات الشمية. وتستجيب المستقبلات الشمية للمنبهات الكيميائية الممثلة بالروائح وعن بعد، بينما تستجيب المستقبلات الذوقية لجزيئات المادة الطعمية المنحلة باللعاب وبالتماس المباشر. أما من ناحية التكيف فمستقبلات التذوق بطيئة التكيف، بينما مستقبلات الشم سريعة التكيف.

1- **حس التذوق Sense of taste:**

تتألف أعضاء حس التذوق في الفقاريات من براعم ذوقية Taste Budsتتوضع غالبيتها على اللسان. يساهم حس التذوق في تعريف الإنسان بنوعية الغذاء الذي يتناوله وتحريض الغدد اللعابية والمعدية بأفعال انعكاسية على إنتاج وطرح مفرزاتها.

يتكون البرعم الذوقي من كتلة بيضاوية الشكل،(الشكل رقم 85). ويحتوي كل برعم على نوعين من الخلايا الظهارية ذات المنشأ الظهاري هما: خلايا داعمة وتدعى بالخلايا المعلاقية Sustentucular Cells ، وخلايا حسية مهدبة تدعى بالخلايا الذوقية Taste Cells .

تتجدد الخلايا الذوقية باستمرار بفضل الانقسامات المتتالية للخلايا الظهارية القاعدية للبرعم الذوقي وتمايزها، ويبلغ العمر الوسطي للخلايا الذوقية في البرعم الواحد من (8-10) أيام. وللبرعم الذوقي فتحة خارجية تدعى مسماً ذوقياً تفتح على التجويف الفموي، وتبرز منه استطالات بروتوبلازمية دقيقة يفترض أنها تحمل المستقبلات الذوقية، وفي الطرف القاعدي للبرعم تحاط الخلايا الذوقية بنهايات تفرعات الألياف العصبية

الذوقية (العصب الوجهي والعصب البلعومي اللساني) التي تندس في طيات أغشية الخلايا الذوقية.



الشكل رقم (85):اللسان وبنية البرعم الذوقي

يبلغ عدد الحليمات الذوقية عند الإنسان (250) حليمة، وكل حليمة تحتوي على (250) برعماً ذوقياً، وكل برعم يحتوي على (12) خلية،(4) خلايا حسية مهدبة والباقي خلايا داعمة. يخرج من كل حليمة ذوقية حوالي (50) ألف ليف عصبي، وحسب شكل الحليمات الذوقية قسمت إلى أربعة أنواع، (الشكل رقم 86).

1- الحليمات الكأسية Circumvallates papilla's: وهي حليمات كبيرة الحجم تتوضع في القسم الخلفي من اللسان، و يتراوح عددها بين (6 و11) حليمة تصطف على هيئة رقم 8.

2- الحليمات الكمئية (فطرية) Fungiform papilla's: هي حليمات تتوزع على السطح الأمامي للسان وأطرافه.

3- الحليمات الخيطية Filiform papilla's: هي أكثر الأنواع انتشاراً، إذ تغطي معظم السطوح الجانبية للسان.

4- الحليمات الورقية Foliate papilla's: هي حليمات تنتشر على طول الحافة الوحشية للسان.



الشكل رقم (86): أنواع البراعم الذوقية

2-آلية عمل المستقبلات الذوقية:

إن عدد الإحساسات الطعمية التي يشعر بها الإنسان كثير للغاية، ولكن وتبعاً للفعالية الكهربائية للأعصاب الموزعة في أنحاء اللسان كله تم تسجيل أربعة طعوم رئيسية هي: الحلو والحامض والمالح والمر، وما الإحساسات الأخرى كإحساسات طعم الخردل والحد إلا نتيجة تنبيه المستقبلات اللمسية والحرارية الموجودة على اللسان والتجويف الفموي البلعومي. وبما أن كل حليمة تحتوي على عدد من البراعم، وكل برعم يحتوي على عدد من الخلايا، يفسر قدرة البرعم الواحد على تحسس طعم واحد أو اثنين أو ثلاثة. وقد أثبتت الدراسات حساسية اللسان للطعوم الرئيسية ولكن مع التنويه إلى تميز شدة حساسية

منطقة عن منطقة أخرى لطعم معين. فمثلا الطعم الحلو تتحسس له بشدة ذروة اللسان، بينما الطعم المالح يتحسس له سطح اللسان. أما الطعم الحامض فيتحسس له كامل سطح اللسان ولكن بدرجة أكبر على جانبية. كما يمكن الإحساس بالطعم الحامض في مناطق خارج اللسان لا تحتوي على براعم ذوقية كالشفاه وسقف الحلق. إن دل ذلك على شيء فإنما يدل أن الطعم الحامض ينبه أيضا المستقبلات اللمسية إضافة إلى تنبيه المستقبلات الذوقية بتأثير شوارد الهيدروجين. أما الطعم المر فنشعر به عن طريق البراعم الذوقية الكأسية الموجودة في مؤخرة اللسان.

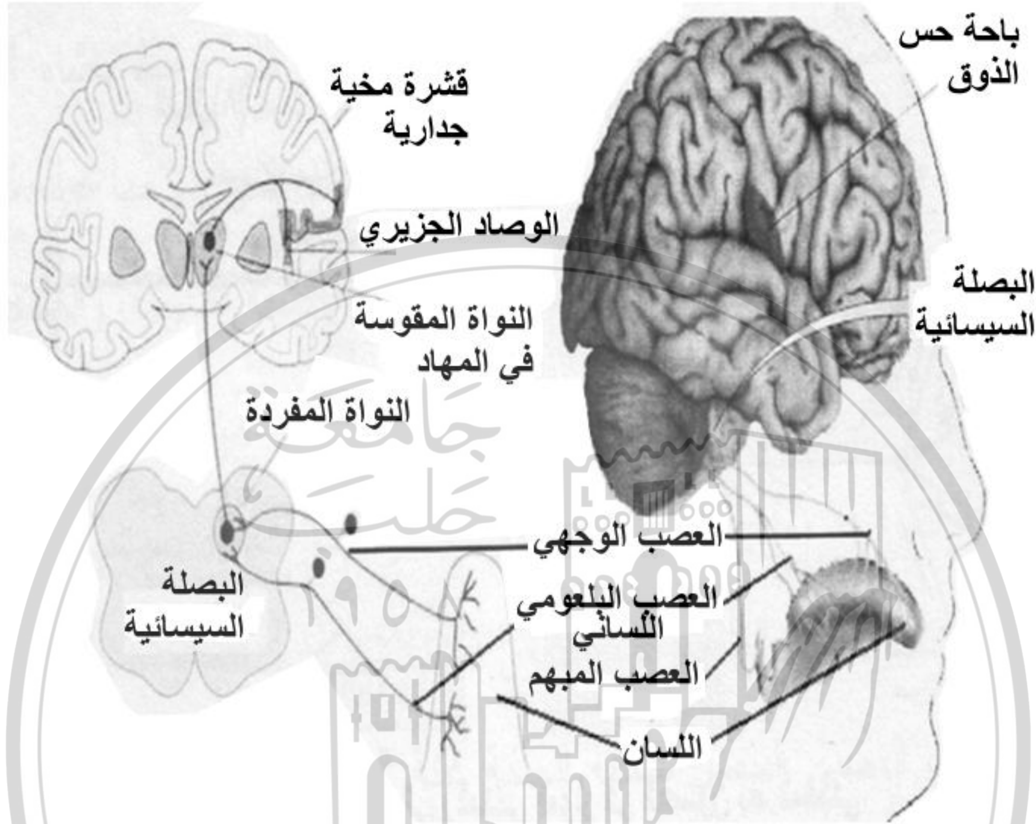
إن الشعور بالطعم يكون على المبدأ التفاضلي، فعندما يكون الطعم أساسياً يعطي أقصى استجابة (أي هناك توافق تام بين المادة ذات الطعم و المستقبلة الموجودة على سطح الاستطالات البروتوبلاسمية للخلايا الذوقية). أما بقية الطعوم فما هي إلا عبارة عن زيادة أو نقصان في تفعيل الخلايا الذوقية .

أما عن آلية تفعيل الخلايا الذوقية فيتم عن طريق انحلال المواد الطعمية التي نتناولها بالماء أو اللعاب الذي يؤمن نقلها إلى المستقبلات النوعية الموجودة على سطح الاستطالات البروتوبلاسمية للخلايا الذوقية فيحصل عندئذ تطابق في السطوح بين جزيئات المادة الطعمية المنبهة وبين المستقبلات. وينتج عن هذا التطابق تبدلات مرحلية في البنية الفيزيائية الكيميائية لأغشية الخلايا الذوقية وتبدل في نفاذيتها للشوارد (دخول شوارد الصوديوم و خروج شوارد البوتاسيوم)، الأمر الذي يؤدي إلى نزع استقطاب في أغشية الخلايا الذوقية ونشوء كمون المستقبلة، الذي تزداد شدته مع ازدياد شدة المنبه حتى الوصول إلى الحد المجدي فينفجر كمون عمل يسري عبر ألياف الحس الذوقي إلى الفص الجداري في القشرة المخية .

3- المسلك العصبي لحس التذوق:

تنقل الإحساسات الذوقية المتولدة في اللسان إلى عصبونات النواة المفردة Solitary Nucleus (هي النواة الحسية المفردة للأعصاب القحفية (السابع والتاسع والعاشر) الموجودة في البصلة السيسائية، ومنها إلى الحدبة الحلقية Pons Varol ثم إلى المهاد البصري (النواة المقوسة)، ومن المهاد ينطلق الإكليل المشع نحو الفص

الجداري(الوصاد الجزيري) في القشرة المخية حيث تتم عملية تحليل المعلومات وإعطائها المدلولات الطعمية ، (الشكل رقم٨٧).



الشكل رقم(87): مسلك حس التذوق عند الإنسان

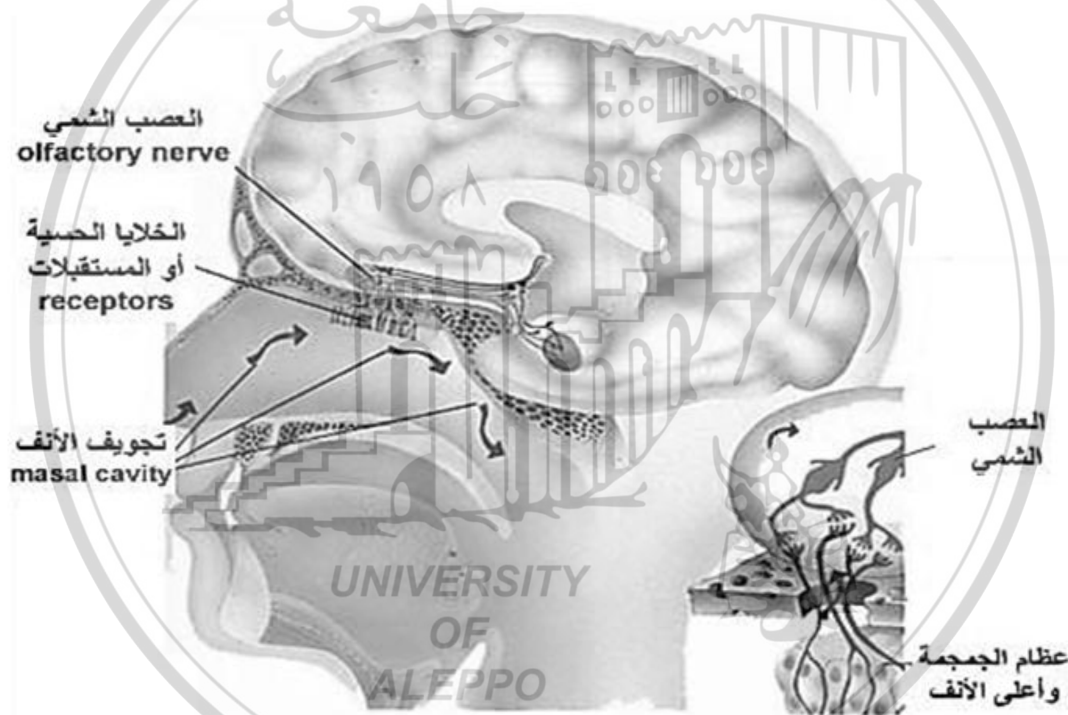
4- حس الشم Sense of Olfactory:

يخدم حس الشم الحيوانات في توجيه سلوكها التغذوي والجنسي وتنظيم الوظائف الانفعالية والعاطفية ويلعب دوراً في الدفاع عن النفس والتعرف إلى المأوى والتخاطب بين الأفراد لدى بعض الأنواع.

تتمثل المستقبلات الشمية عند الإنسان بالظهارة الشمية التي تقع في الجزء الخلفي من التجويف الأنفي بعيدةً عن تأثير التيارات الهوائية التنفسية، (الشكل رقم 88)، الأمر الذي يعلل الاستنشاق العميق عند ما يراد تمييز رائحة معينة. فالاستنشاق العميق يخلق تياراً قوياً يحمل معه جزيئات الرائحة إلى الظهارة الشمية. وتبلغ مساحة الظهارة الشمية في كل منخر عند الإنسان (2.4) سم^2، وتتألف من نمطين أساسين من الخلايا: خلايا ظهارية داعمة وخلايا شمية. الخلايا الداعمة تشتمل على نوعين من الخلايا هما:

أ- خلايا ظهارية سطحية أسطوانية الشكل سطوحها الجانبية غير منتظمة نتيجة وجود الخلايا الشمية التي تتوضع بينها. وتحمل كل خلية في قمتها عدداً من الزغابات الدقيقة ونواة تتوضع بالقرب من السطح، وعدداً كبيراً من الحويصلات الإفرازية الغنية بالأصبغة الكاروتينية من نمط بيتا B-Carotene المسؤولة عن تلون المادة المخاطية باللون الأصفر.

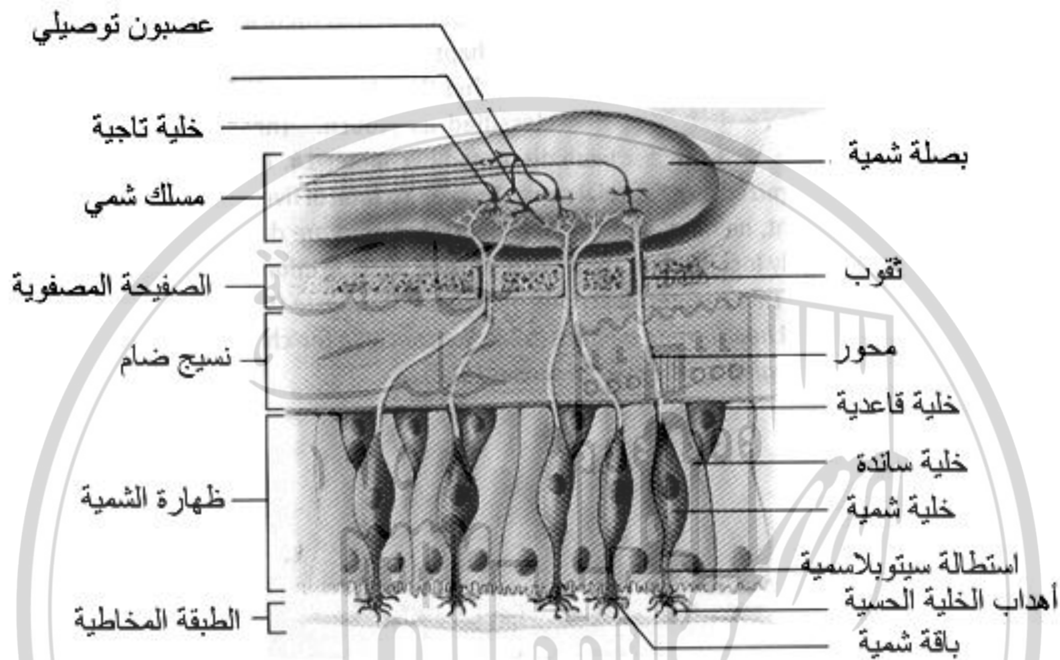
ب- خلايا قاعدية صغيرة الحجم، كروية الشكل، تضم نوعين من الخلايا التي تتقسم باستمرار، إحداهما لتجديد الخلايا الداعمة والثانية تساهم في تجديد الخلايا الشمية، علماً أن العمر الوسطي للخلايا الشمية يتراوح ما بين (5-7) أسابيع.



الشكل رقم (88) مكان توضع الظهارة الشمية في التجويف الانفي

أما الخلايا الشمية فهي عصبونات حسية ثنائية القطب (مستقبلة أولية)، تجتمع محاورها الأسطوانية لتشكل ألياف العصب الشمي الذي ينتهي في كبيبات البصلة الشمية. أما استطالاتها السيتوبلاسمية فتنتهي على سطح الظهارة بانتفاخ يحتوي على (5-16)هدباً حسياً والتي يفترض أنها تحمل المستقبلات، تغطيها مسحة مخاطية تفرزها خلايا بومان المتوضعة أسفل الظهارة الشمية ، (الشكل رقم 89) .

تلعب المادة المخاطية للظهارة الشمية دور مذيب لبعض المواد ذات الرائحة، كما أنها تحتوي على بروتينات منحلة خاصة يمكنها أن تربط إليها بعض جزيئات مواد الرائحة وتدعى هذه البروتينات الحاملة للمواد ذات الرائحة Odorant Binding Proteins وإيصالها إلى المستقبلات النوعية للخلايا الشمية.



الشكل رقم (89): بنية الظهارة الشمية وعلاقتها بالبصلة الشمية

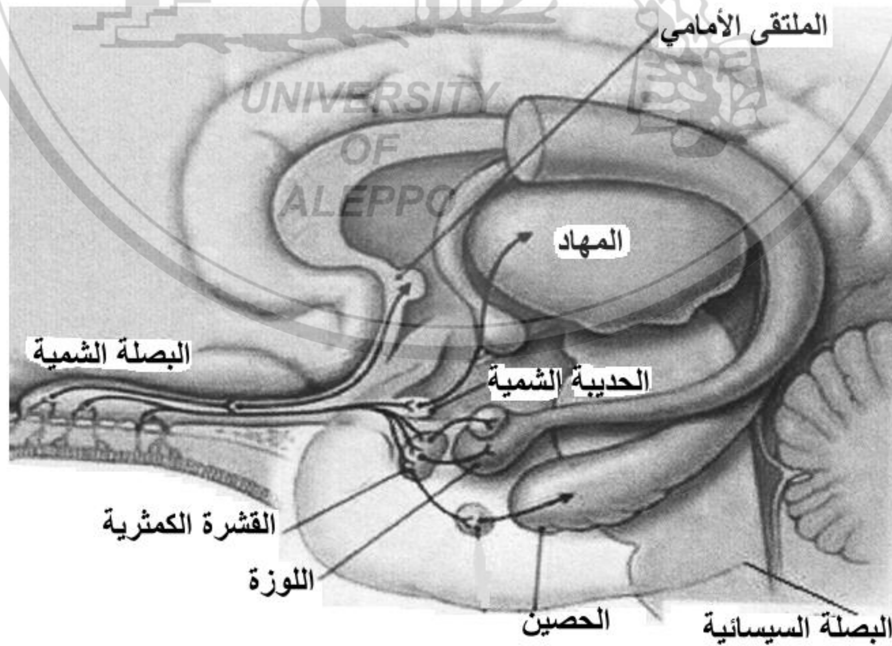
وتضم الظهارة الشمية أيضا عدداً كبيراً من النهايات الحسية اللمسية التي تأخذ طريقها في أحد فروع العصب مثلث التوائم Trigeminal Nerveمما يجعل هذه المنطقة شديدة الحساسية للمنبهات اللمسية. وهذا ما يفسر سرعة تطور المنعكسات المحلية لدى الإنسان في أثناء الإصابة بالزكام، والتي ينتج عنها في بعض مراحله زيادة في الإفرازات المخاطية وحصول احتقانات وانسدادات في الطرق التنفسية العلوية وتناقص الإفرازات المخاطية في مراحل أخرى. جميع ردود الفعل هذه تمنع وصول جزيئات الرائحة إلى الخلايا الشمية وتضعف الإحساسات الشمية.

أما فيما يتعلق بألياف العصب الشمي Olfactory Nerve فهي لا نخاعية تتحد جزئيا فيما بينها لتشكل عدد من الفروع(15-20) فرعاً في كل جانب، يشكل مجموعها العصب الشمي.

تعبر ألياف العصب الشمي ثقوب الصفيحة المصفوية Cribriform Plate للعظم الغربالي الذي يفصل جوف الدماغ عن جوف الأنف وصولاً إلى البصلة الشمية Olfactory Bulb (جزء من الدماغ الشمي) حيث تنتهي تفرعاته في سوية الكبيبات الشمية Glomerulus Olfactory لتلتقي في مشابك عصبية مع الخلايا التاجية Mitral Cells التي تعد المحطة الثانية في المسلك الشمي. ويشكل مجموع ألياف الخلايا التاجية المسلك الشمي Olfactory Tract، (الشكل رقم90). ويتفرع المسلك الشمي إلى ثلاثة فروع رئيسة :

أ- ينتهي أحد هذه الفروع في الملتقى الأمامي Anterior Commissure، وهو يزود الوطاء والأجزاء الأخرى من الجهاز الحافي Limbic System بالمعلومات الحسية التي تخدم بعض السلوكيات الناجمة عن الرائحة كالإثارة العاطفية التي ترافق الشم سواءً أكانت سارة أم بغيضة.

ب- ينتهي الفرع الثاني في القشرة الكمثرية ثم في النواة اللوزية Amygdaloidal Nucleus ومنها إلى الحصين Hippocampus الذي يملك شأناً كبيراً في موضوع التعلم والذاكرة كالتميز بين الأطعمة وتفضيل بعضها ورفض بعضها الأخر اعتماداً على الخبرات المكتسبة بالتعلم.



الشكل رقم (90) المسلك الشمي

ج- ينتهي الفرع الثالث في الحديبة الشمية Olfactory Tubercle ومنها إلى المهاد البصري Thalamus فالقشرة الحجاجية الجبهية، ويفيد هذا المسلك في التحليل الواعي للرائحة.

5-آلية عمل المستقبلات الشمية:

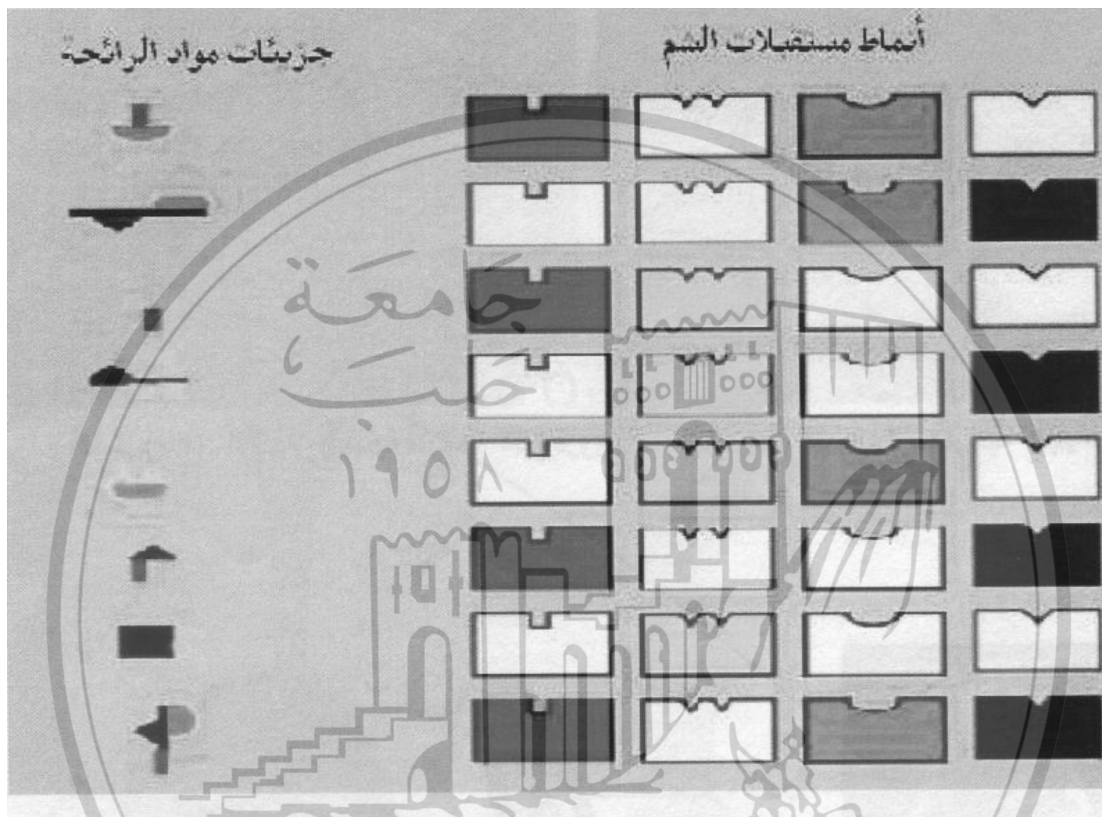
ما زالت معلوماتنا عن آلية عمل المستقبلات الشمية ضئيلة، وقد فشلت معظم الدراسات الفيزيولوجية في إيجاد علاقة ترابطية بين أنواع الروائح التي نشعر بها وبين أنماط المستقبلات .وقد بينت إحدى الدراسات التي تم فيها تسجيل فعالية الخلايا الشمية للضفدع بوساطة المساري الدقيقة أن كل خلية حسية يمكن أن تتفعل بتأثير رائحة أو أكثر.

وقد أشارت الدراسات النسيجية والكيميائية التي أجريت على الخلايا الشمية أن المستقبلات تتكون من جزيئات بروتينية وبروتينات سكرية ذات بنية فراغية محددة. ولكنها تتمتع بمرونة واسعة تجعلها تتنبه بفعل جزيئات مواد مختلفة. وقد اقترح بعض الباحثين أن التنشيط النوعي للخلايا الشمية يعتمد على وجود أنماط مختلفة من المستقبلات في أغشية الخلية الحسية يتأثر كل منها بأحد الجذور الكيميائية للجزيئة ذات الرائحة. وبما أن الجزيئات الكيميائية للمواد ذات الرائحة يمكنها أن تحمل أكثر من نمط من الجذور الكيميائية المتباينة في طبيعتها فإن جزيئات هذه المادة يمكنها أن تفعل أكثر من نمط من المستقبلات الشمية النوعية.

وبناء على أمور الفحص الفيزيائي لجزيئات الرائحة تبين أن جزيئات رائحة المسك لها شكل قرصي والزهر لها شكل مذنب والكافور شكلها بيضوية والإيتر شكلها متطاول، (الشكل رقم 91).

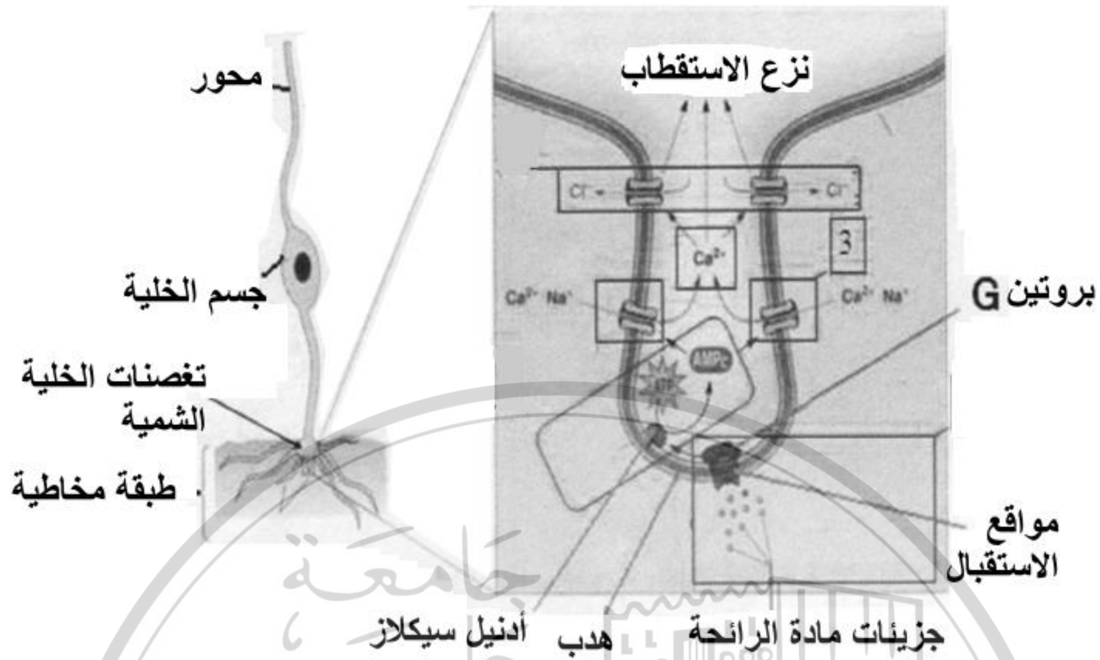
أما آلية تفعيل الخلايا الشمية فيتم عن طريق انحلال المواد ذات الرائحة إلى جزيئاتها بوساطة المادة المخاطية الموجود أسفل الظهارة الشمية من جهة، وتطابق السطوح بين جزيئات المادة ذات الرائحة المنبهة وبين المستقبلات النوعية الموجودة على الخلايا الشمية من جهة أخرى.

يؤدي هذا التطابق إلى حصول تبدلات مرحلية في نفاذية الغشاء للشوارد إما بالتأثير المباشر لهذه المادة في القنوات الشاردية أو عبر بروتين G وجملة الرسول الثاني المتمثلة بالأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي ونشوء كمونات استقبال موضعية تكون أساساً للدفعات العصبية المسؤولة عن الإحساسات الشمية، (الشكل رقم 92).



الشكل (91) أنماط المستقبلات الشمية وجزيئات مواد الرائحة

وفي أغلب الأحيان يكون المنبه الكيميائي الذي يولد الشعور برائحة ما هو عبارة عن مزيج من المركبات الكيميائية، وعلى أساس ذلك فإن كل مركب يرتبط إلى درجة معينة بنمط محدد من المستقبلات وبالتالي فإن استجابة الخلايا الشمية يرتبط بأنواع الجزيئات للمادة ذات الرائحة وبتركيز كل منها. ووفقاً لهذا التصور فإن الخلايا الشمية تقوم بتحليل الرائحة إلى مكوناتها الأساسية وتحول كل منها إلى نمط فعالية خاص يتنقل عبر ألياف العصب الشمي إلى الجملة العصبية المركزية التي يقع على عاتقها تفسير المعلومات وإدراكها كحس شعوري بالرائحة. وهكذا فإن الشعور برائحة ما هو إلا حصيلة تفعيل تفاضلي لمجموع المستقبلات الشمية.



الشكل رقم (92): ألية تفعيل المستقبلات الشمية

ثالثاً: الحس البصري Vision Sense

الرؤية هي من أهم الإحساسات للإنسان، بدليل أن أكثر من 70% من إحساساته بصرية، إذ تمثل الألياف العصبية البصرية أكثر من ثلث الألياف العصبية الحسية. ويخدم الحس البصري بالإضافة لإمكانية الرؤية الملونة إمكانية الرؤية بتراكيز مختلفة من الضوء، من ضوء النهار الساطع إلى الرؤية في الظلام، علماً أن مجال الرؤية عند الإنسان محدود ولا يتعدى (400) نانومتر، والمحدد بطولي الموجتين (390 – 760) نانومتر، والذي يطلق عليه مجال الضوء المرئي.

1- الأعضاء الملحقة بالعين:

تقوم الأعضاء الملحقة بالعين بحماية العين وتساعدها على القيام بوظائفها:

أ-الحجاج: جوف عظمي مقعر تسكنه كرة العين حيث ترتكز على طبقة شحمية تملأ باقي الجوف.

ب-الأجفان: عبارة عن صفيحة ضامة يغطيها الجلد من الخارج، ومن الداخل غشاء وردي يدعى الملتحمة، وعند انطباق الأجفان يتشكل بينها وبين كرة العين جوف ضيق

يدعى كيس الملتحمة conjunctive. وظيفة الأجفان حماية العين من المؤثرات الخارجية.

ج-الرموش: أشعار مغروسة في الأجفان تلتقط الجزيئات الغبارية.

د-الحاجبان: قوسان من الأشعار أعلى العينين تمنعان دخول العرق المتصبب من الجبين إلى العين.

هـ - الجهاز الدمعي: ويتألف من الغدة الدمعية والطرق الدمعية، (الشكل رقم 93).

تستقر الغدة الدمعية في الزاوية الخارجية العلوية للحجاج وتفتح أقنيتها في القسم العلوي من كيس الملتحمة. يغسل السائل الدمعي الجزء الأمامي من العين وتساعد رفرفة الأجفان في ترطيب القرنية بالسائل الدمعي. إضافة إلى ذلك يقوم السائل الدمعي بوظيفة دفاعية لاحتوائه على أنزيمات حالة تقتل الجراثيم التي تقع على القرنية والملتحمة، وفي النهاية يتجمع الدمع في الزاوية الداخلية لمقلة العين حيث يوجد على الجفن العلوي والسفلي فوهتان صغيرتان تبدأ منهما الأقنية الدمعية التي تصب في الكيس الدمعي، والذي بدوره يتصل بالقناة الدمعية التي يسيل فيها الدمع إلى جوف الأنف.

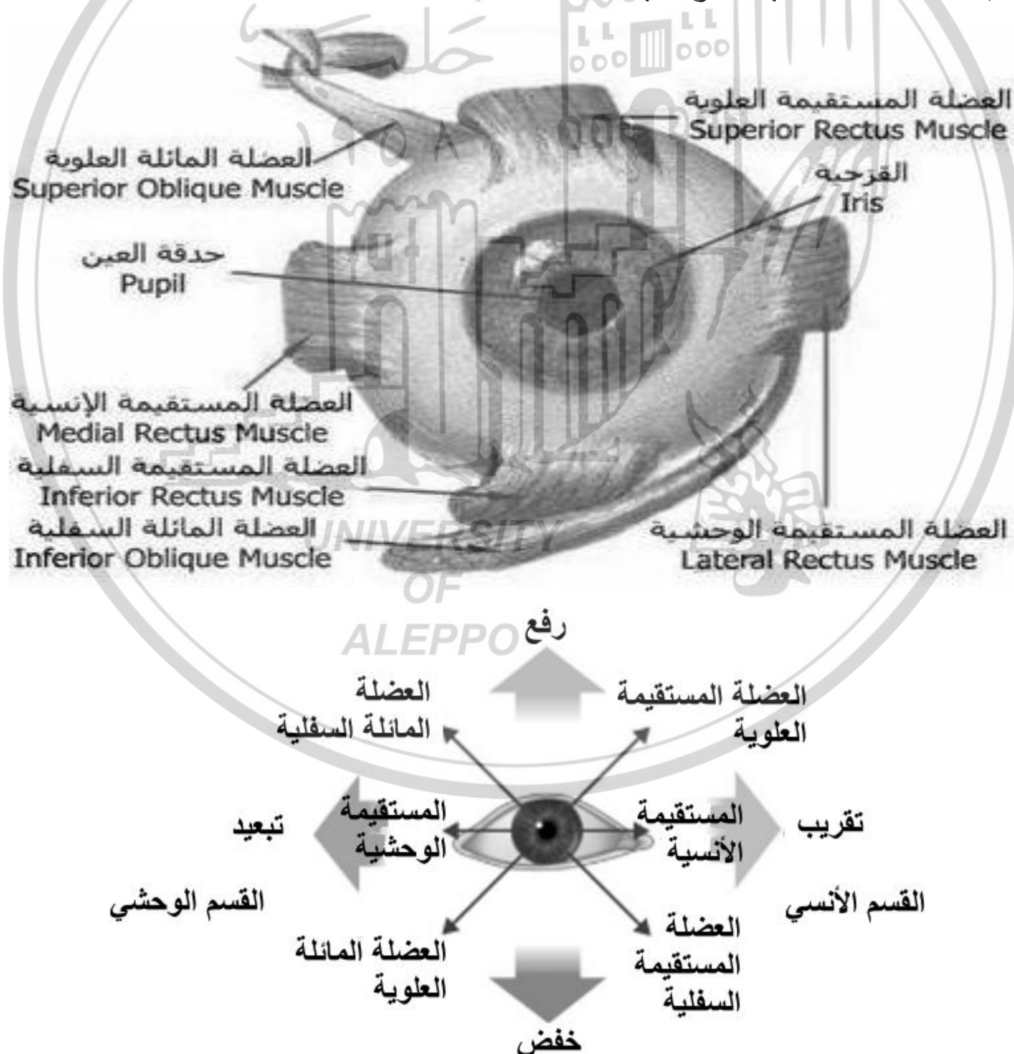


الشكل رقم (93): الجهاز الدمعي عند الإنسان

و- الجهاز الحركي: يلحق بالعين إضافة إلى العضلة التي ترفع الجفن العلوي ثلاثة أزواج من العضلات تحركها في كل الاتجاهات. المستقيمتان الأنسية والوحشية وتحركانها نحو الأنسي والوحشي، والمستقيمتان العلوية والسفلية وتحركانها نحو الأعلى

والأسفل، والمنحرفتان العلوية والسفلية وتحركانها حركة دورانية، (الشكل رقم 94). وبفضل عمل هذه العضلات يمكن للعينين أن تثبتا الرؤية على الجسم المنظور وتتبع حركته. بدليل أن المصاب بالحول Squint لا يستطيع تثبيت محور الرؤية لأحد العينين على الجسم المرئي الذي تراه العين الأخرى.

إضافة إلى ذلك هناك ثلاثة أعصاب قحفيه تعصب العين: العصب الثالث المحرك العينيOculomotorius.N ويعصب الجفن العلوي وعضلات العين ماعدا المستقيمة الوحشية والمنحرفة العلوية، والعصب الرابع الاشتياقي أو البكريN. Trochlearis ويعصب العضلة المنحرفة العلوية، والعصب السادس المبعد العيني Abducens.N ويعصب العضلة المستقيمة الوحشية.



الشكل رقم (94): عضلات العين وحركة العين بكل الاتجاهات

2- البنية التشريحية للعين عند الإنسان:

تأخذ العين عند الإنسان شكل كرة قطرها (3.5) سم، ويتكون محيطها من ثلاث طبقات نسيجية، (الشكل رقم 95):

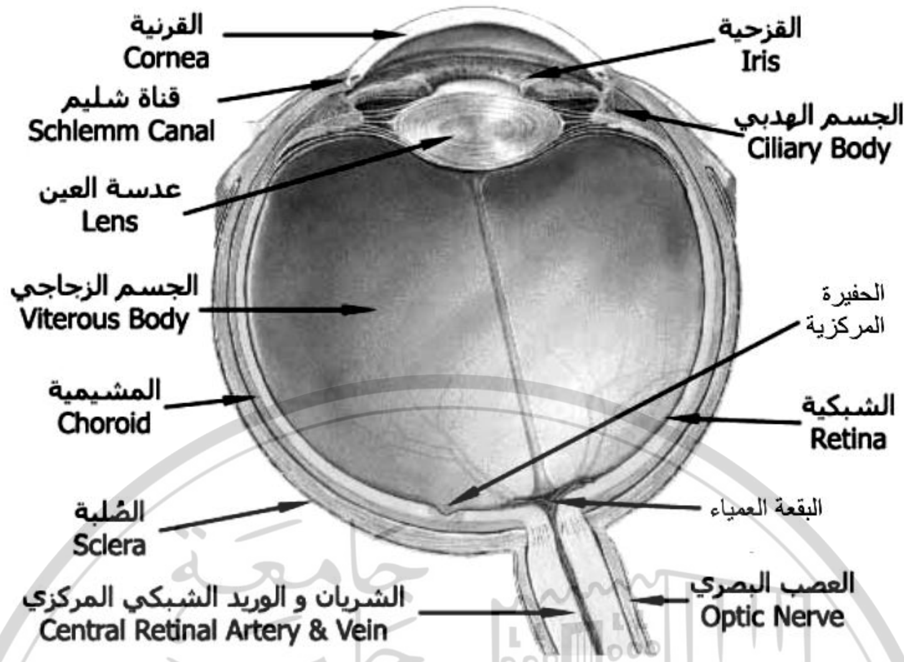
أ-الطبقة الخارجية (الطبقة الصلبة Sclerotic): تتكون الطبقة الصلبة من نسيج ضام ليفي ذي مقاومة عالية، وظيفتها دعم وحماية العين والمحافظة على شكلها العام. يتمايز القسم الأمامي من الطبقة الصلبة إلى بنية شفافة تسمح بمرور الضوء هي القرنية Cornea.

ب- الطبقة الوسطى (المشيمية Choroid): تتألف من نسيج ضام رخو غني بالأوعية الدموية تمتد في القسم الأمامي من العين بنسيج عضلي يكون ما يعرف بالجسم الهدبي Ciliary Body والقزحية Iris.

تعد القزحية بمثابة حاجز يتحكم بدخول الضوء إلى جوف العين وذلك من خلال قدرتها على تغيير قطر فتحة الحدقة Pupil التي تبدو كثقب في وسط القزحية، وهذا يعود إلى بنيتها العضلية الملساء. تحتوي القزحية على نوعين من الألياف العضلية الملساء: عضلات دائرية معصبه بألياف نظيرة ودية تابعة للعصب القحفي الثالث (المحرك العيني) وظيفتها تضيق الحدقة في أثناء الإضاءة القوية، وألياف عضلية شعاعية معصبه بألياف ودية وظيفتها توسيع الحدقة في أثناء الإضاءة الضعيفة.

أما الجسم الهدبي فيتألف من مجموعة من العضلات الملساء تعصب بألياف نظيرة ودية تابعة للعصب القحفي الثالث (المحرك العيني). وظيفة الجسم الهدبي المساعدة في عملية المطابقة وإفراز الخلط المائي.

ج-الطبقة الداخلية (الشبكية Retina): تتألف الشبكية من نسيج عصبي تمايز لاستقبال الأشعة الكهرطيسية، وتحتوي الشبكية على نوعين من الخلايا الحساسة للضوء: العصي ذات الحساسية العالية والرؤية الليلية والمخاريط المسؤولة عن الرؤية النهاري وإدراك الألوان. تبطن الشبكية الثلثين الخلفيين لجوف كرة العين، ممتدة في الأمام بطبقة أو أكثر من الخلايا الظهارية التي تغطي الوجه الخلفي لكل من الجسم الهدبي والقزحية. وتحتوي الشبكية على منطقتين متمايزتين نسيجياً ووظيفياً:



الشكل رقم (95): البنية التشريحية للعين عند الإنسان

- اللطخة الصفراء Macula lutein : وتقع بالقرب من امتداد المحور الأمامي الخلفي للعين وعلى بعد (2) ملم عن البقعة العمياء. يسمى القسم المركزي من اللطخة الصفراء الحفيرة المركزية Fovea Central's أو النقرة ويبلغ قطرها (0.4) ملم وتتميز بغناها بأنماط محددة من الخلايا الحساسة للضوء (المخاريط فقط) وغالباً ما يقع عليها خيال الجسم المرئي وتكون فيها القدرة البصرية أعلى ما تكون، لذلك فهي المسؤولة عن الرؤية الدقيقة والملونة.
- البقعة العمياء Blind Spot : وتمثل منطقة مغادرة ألياف العصب البصري، وهي منطقة خالية من المستقبلات الضوئية.

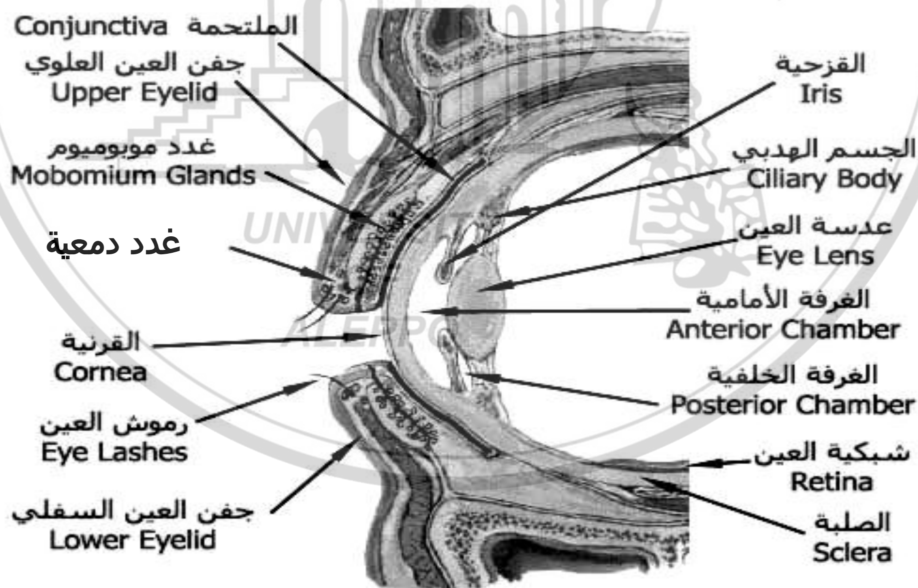
3- الأوساط الكاسرة للضوء:

وهي من الأمام إلى الخلف: القرنية، والخلط المائي،، والعدسة والخلط الزجاجي.

أ- القرنية Cornea: وهي القسم الأمامي الشفاف من الطبقة الصلبة. وظيفتها كسر الضوء بقوة انكسارية كبيرة تشكل ما يقارب 47% من القوة الانكسارية الكلية للعين وذلك بسبب شدة انحنائها، وبعدها عن الشبكية والفرق الكبير بين معامل انكسار الهواء(1) ومعامل انكسار القرنية (1.38).

ب- الخلط المائي Aqueous Humor: وهو سائل ملحي تفرزه الخلايا الظهارية المبطنة للجسم الهدبي، ويملأ هذا السائل الغرفتين: الأمامية والخلفية. تمتد الغرفة الأمامية بين القرنية والقزحية وتشكل الغرفة الخلفية الحيز الواقع بين القزحية والعدسة Lens، (الشكل رقم 96) ،وتتصل الغرفتان ببعضهما بفتحة الحدقة. يساهم الخلط المائي إضافة إلى كونه وسطاً من الأوساط الكاسرة للضوء في رفع الضغط داخل جوف العين إلى قيمة (12 – 15 ميليمتر زئبقي). والخلط المائي ذو قرينة انكسار تساوي (1.34).

ج-العدسة Lens (الجسم البلوري): جسم شفاف محدب الوجهين، يقع خلف القزحية. وتتكون العدسة من عدة طبقات ليفية من البروتينات اللزجة والشفافة تتوضع فوق بعضها، وتنتج عن انقسام طبقة الخلايا الظهارية المحيطية بالعدسة. ويلتصق بالسطح الخارجي للخلايا الظهارية الخاصة بالعدسة غشاء شفاف يؤمن ربط العدسة بالجسم الهدبي يدعى الرباط المعلق Suspensory Ligament، الذي يمكن أن يشد ويرخي باسترخاء أو تقلص الجسم الهدبي. تلعب العدسة إضافة إلى دورها في المطابقة تلعب دوراً أساسياً كوسط كاسر للضوء. وللعدسة قرينة انكسار تساوي (1.4).



الشكل رقم (96): يظهر الغرفة الأمامية والخلفية في العين

د-الخلط الزجاجي Vitreous Humor: سائل هلامي القوام يتمتع ببنية متماسكة بفعل شبكة من الليفات الناعمة المكونة من جزيئات بروتينية سكرية. يقع الخلط الزجاجي

خلف العدسة، ويشغل أربعة أخماس جوف كرة العين. يلعب الخلط الزجاجي دور وسط كاسر للضوء حيث يعمل على تجميع وتقريب الأشعة واسقاطها على الشبكية، وللخلط الزجاجي قرينة انكسار تساوي (1.33).

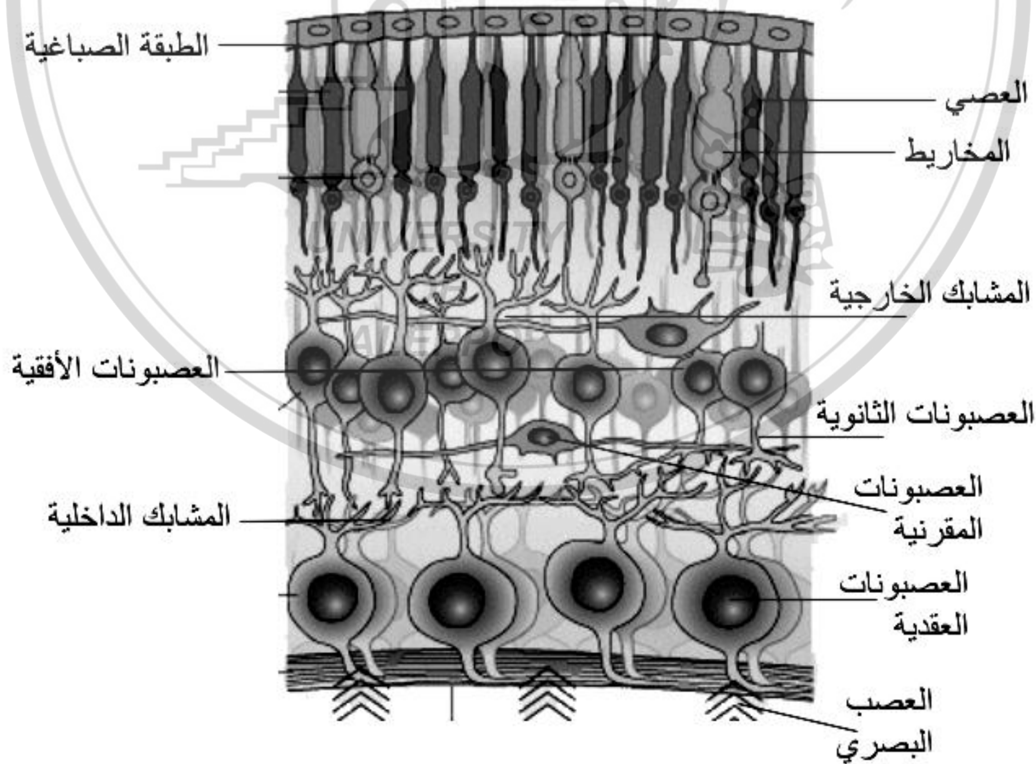
4- البنية النسيجية للشبكية:

تتألف شبكية العين عند الإنسان من ثلاث طبقات خلوية تمايزت لاستقبال الضوء المرئي، (الشكل رقم 97):

أ- طبقة المستقبلات الضوئية Photoreceptors .

ب- طبقة العصبونات ثنائية القطب Bipolar neurons.

ج- طبقة العصبونات العقدية Ganglion neurons: التي تشكل محاورها العصب البصري. إضافة إلى ذلك هناك الطبقة الصباغية التي تفصل بين طبقة المستقبلات الضوئية والطبقة المشيمية .تحتوي الطبقة الصباغية على صبغة الميلانين التي تمنع انعكاس الضوء في كامل كرة العين. هذا وتتمتع الشبكية ببنية متماسكة بفضل شبكة من الخلايا الداعمة المعروفة باسم الخلايا الشعاعية أو خلايا Muller.



الشكل رقم (97): بنية شبكية العين

تتألف المستقبلات الضوئية من عصي Rods ومخاريط Cones، وظيفتها امتصاص وتحويل الطاقة الضوئية المنعكسة عن الأشياء المرئية إلى طاقة كهربائية.

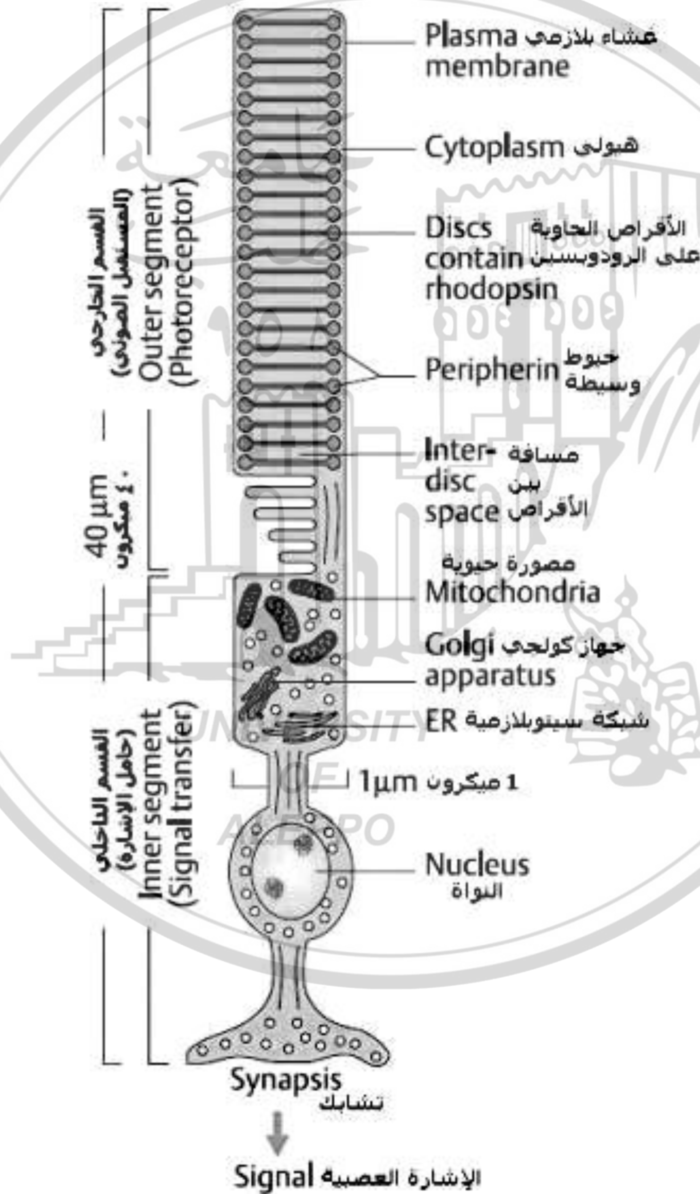
إن عدد العصي والمخاريط في شبكية العين أكبر بكثير من عدد ألياف العصب البصري. إذ يبلغ عدد ألياف العصب البصري في عين الإنسان حوالي مليون ليف مقابل سبعة ملايين مخروط، ومائة وخمسة وعشرين مليون عصا. وهذا يعني أن كل عصبون عقدي يرتبط مشبكياً مع عدة عصبونات ثانوية، وكل عصبون ثانوي يرتبط بدوره بعدة مستقبلات ضوئية، باستثناء المستقبلات الموجودة في اللطخة الصفراء حيث يتصل كل مخروط بعصبون عقدي واحد. ويطلق تعبير حقل استقبال العصبون على مجموع المستقبلات الضوئية التي ترسل دفعاتها العصبية إلى الدماغ عبر عصبون عقدي واحد.

يوجد في سوية الشبكية أيضاً إمكانات لتبادل التأثير بين المستقبلات الضوئية والعصبونات ثنائية القطب والعصبونات العقدية بتدخل نمطين من الخلايا البينية Interneurons هما:

- الخلايا الأفقية Horizontal Cells: وظيفتها تأمين ارتباطات مشبكيه في سوية المشابك الخارجية التي تربط المستقبلات الضوئية والعصبونات ثنائية القطب، وهي تلعب دوراً رئيسياً في دارات التثبيط الجانبي Lateral Inhibition الخاصة بعمل المحيط التثبيطي لحقول الاستقبال الحسي للعصبون العقدي.
- الخلايا المقرنية Amacrine Cells: قسم منها يؤمن ارتباطات في سوية المشابك الداخلية التي تربط العصبونات ثنائية القطب بالعصبونات العقدية، وقسم أخر يؤمن تبادل التأثير بين محاور العصبونات ثنائية القطب وبين تغصنات العصبونات العقدية. وهي تعمل على تكامل الإشارات البصرية وتنقيتها قبل أن تغادر الشبكية إلى الدماغ.

أما وظيفياً، تلعب الخلايا البينية دوراً في إيضاح الصورة المرئية وذلك عن طريق تحسينها لظواهر التباين Contrast الضوئي اللالوني (أبيض وأسود) والتباين الضوئي اللوني بفضل دارات التثبيط الجانبي التي تشكلها الخلايا الأفقية في طبقة المشابك الخارجية من جهة، والدارات التي تكونها الخلايا المقرنية في طبقة المشابك الداخلية من جهة أخرى.

فيما يتعلق ببنية المستقبلات الضوئية، فكل منها يتكون من جزأين: أحدهما خارجي حساس للضوء ويتألف من مادة صباغيه (تدعى الردوبسين Rhodopsin للعصي، واليود وبسين Iodopsin للمخاريط)، وجزء داخلي يحتوي على عضيات الخلية وصفيحات بروتينية شحمية يقتصر عملها على الاستقلاب من أجل الحصول على الطاقة اللازمة لعمل تلك المستقبلات. ويمتد الجزء الداخلي للخلية الحسية بمحور ينتهي بالتفرعات الانتهائية، (الشكل رقم 98).



A Rod Cell - **عصية**

الشكل رقم (98): بنية العصي

وقد أثبتت الدراسات أن العصي والمخاريط تحرر في سوية ارتباطها المشبكي مع العصبونات ثنائية القطب والخلايا الافقية الغلوتامات Glutamate وهو ناقل منبه.

وقد بينت الدراسات النسيجية الدقيقة بالمجهر الالكتروني أن الجزء الخارجي للخلية الحسية يحتوي على صفائح غشائية منضدة فوق بعضها كقطع النقود، وتنشأ هذه الصفائح من انخماصات في غشاء خلية المخروط، وهي مفصولة عن الغشاء الخلوي في العصي. وأهم ما تتميز به هذه الصفائح هو احتواؤها على الصبغات البصرية الحساسة للضوء.

وتتألف المادة الصباغية للعصي (رودوبسين) والمخاريط (يودو بسين) من بروتين سكري يطلق عليه اسم أوبسين Opsin، يرتبط بجزيء كاروتيني مشتق من فيتامين A1 يطلق عليه شبكين –1 (Ritinal-A1) .

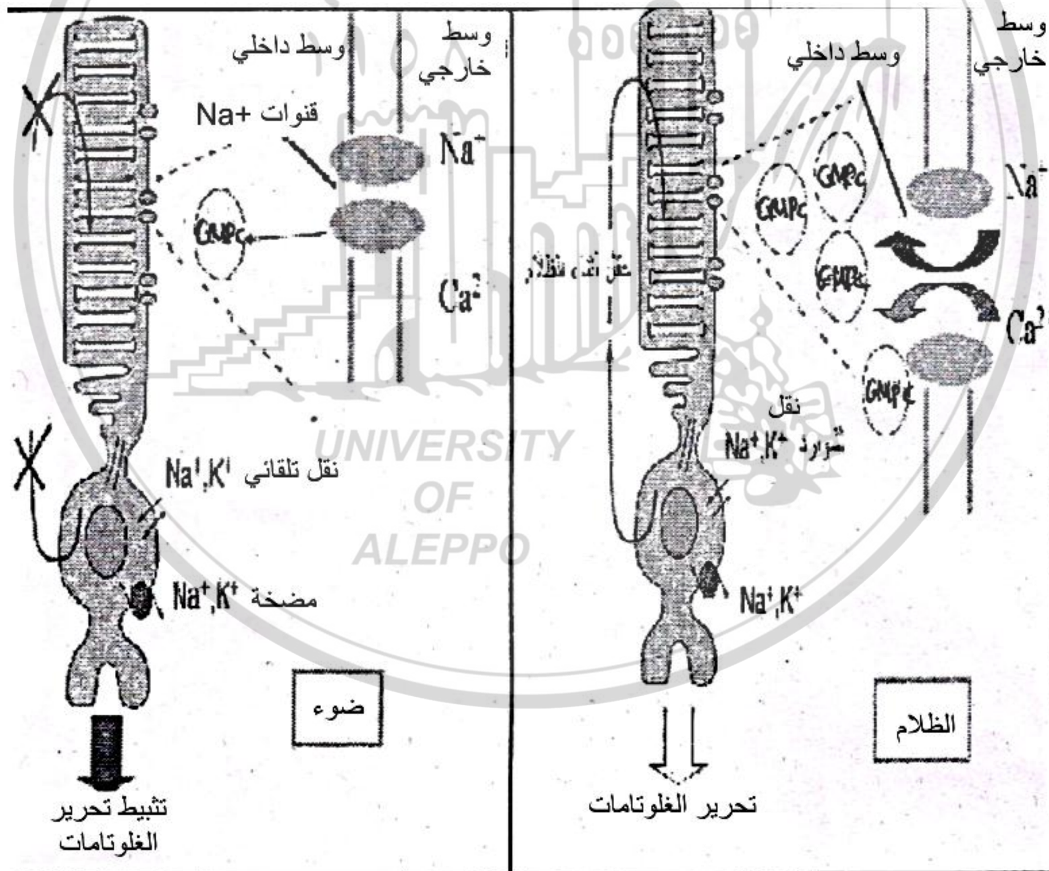
وإذا ما رسمنا منحى امتصاص الأصبغة البصرية للأمواج الضوئية، نجد أن ذروة امتصاص الردوبسين العظمى للأشعة تقع بالقرب من الطول الموجي (500) نانومتر، وهذا ما يتوافق مع منحى حساسية عين الإنسان المتكيفة للرؤية في الضوء الخافت. أما منحى امتصاص اليودوبسين للأشعة فيقع بالقرب من (550) نانومتر، وهذا ما يتوافق مع حساسية عين الإنسان المتكيفة للرؤية في الضوء الساطع. إضافة إلى ما سبق أن الفروق الشكلية والصباغية للعصي والمخاريط تقترن بفروق فيزيولوجية، حيث أظهرت جميع العصي حساسية واحدة بالنسبة لأمواج الضوء المرئي وأنها أكثر حساسية للضوء من المخاريط، لذلك اقتصرت وظيفتها على اكتشاف الاختلاف في الشدات الضوئية وأنها تكيفت للعمل في الضوء الخافت من أدنى حدود الرؤية وحتى الغسق، في حين أظهرت المخاريط متعددة الأنماط اختلاف في حساسيتها لأمواج الضوء المرئي، لذلك فهي تعمل في ضوء النهار ويقع على عاتقها مسؤولية حدة الرؤية وإدراك الألوان.

5- آلية الرؤية وتشكيل كمون العمل في عين الإنسان:

لفهم ألية عمل المستقبلات الضوئية في العين في أثناء التنبيه الضوئي لا بد من وصف وضعها دون تنبيه حيث يملك الجزء الخارجي لأغشية الخلايا الحسية (العصي والمخاريط) قنوات شاردية صودية وكلسية مفتوحة أثناء الظلام تعبر من خلالها شوارد

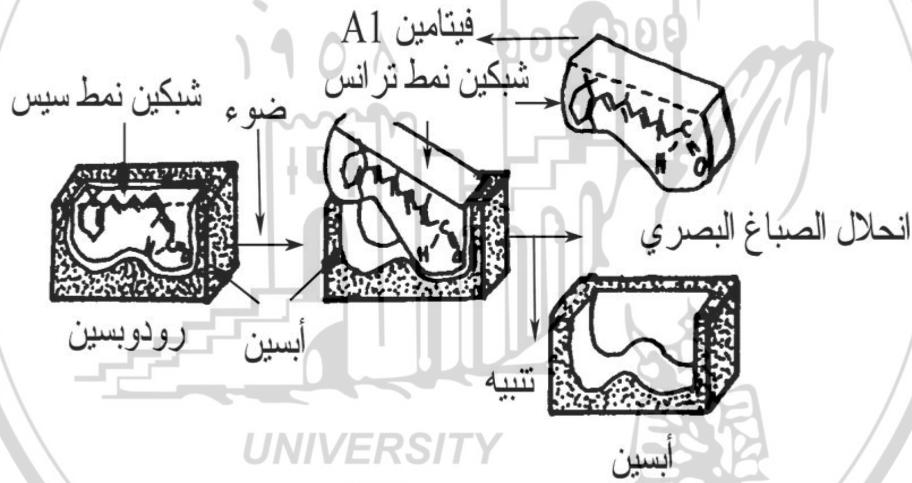
الصوديوم والكالسيوم تبعاً لتدرج تركيزها الكيميائي بين الوسط الداخلي والوسط الخارجي مما يولد في هذه الخلايا نزع استقطاب في أثناء الظلمة. وتحافظ الخلايا الحسية على درجة من نزع الاستقطاب من خلال النقل الفعال للصوديوم في الجزء الداخلي لأغشية الخلايا الحسية وهذا يساهم في تحرير الغلوتامات في فوالقها المشبكية مع العصبونات الثانوية والخلايا الأفقية، (الشكل رقم 99).

ففي الحالة العادية يكون كمون الراحة لدى العصي أو المخاريط حوالي (− 40) ميلي فولط، ويحافظ على توازنه من خلال استمرار خروج شوارد الصوديوم من غشاء الجزء الداخلي للعصي واستمرار دخول شوارد الصوديوم عبر غشاء الجزء الخارجي. وعند حدوث التنبيه الضوئي تغلق القنوات الشاردية ويزداد استقطابها وينخفض تيار الظلمة وينخفض تحريرها للغلوتامات.



الشكل رقم (99): ألية عمل المستقبلات الضوئية أثناء الضوء والظلمة

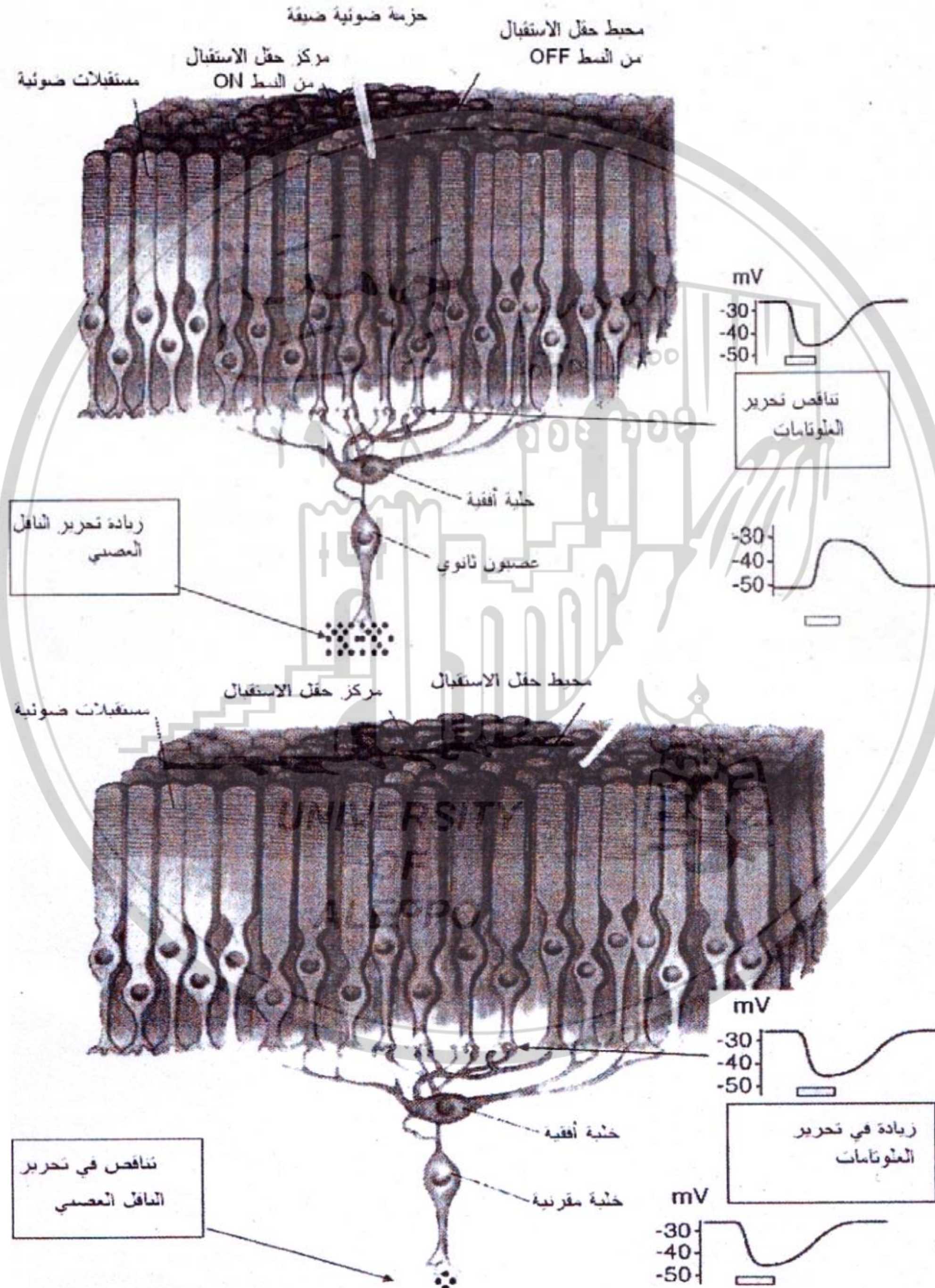
وعند النظر للأشياء تدخل الأشعة الضوئية المنعكسة عن الجسم المنظور إلى العين وعندما تصل هذه الأشعة إلى المستقبلات الضوئية يمتصها الصباغ البصري ويتغير شكل جزيئاته. ففي العصي مثلاً، يتحول شبكين الردوبسين إثر امتصاصه للضوء من النمط المقرون، سيس cis (شكل الجزيء يكون منحنياً) إلى شبكين من النمط المفروق، ترانس Trans(شكل الجزيء يكون مستقيما)، ينفصل على أثرها عن الأبسين ويتحول إلى فيتامين A1، (الشكل رقم 100). يلي تفكيك الصباغ البصري ظهور كثيف لشوارد الكالسيوم في بلاسما العصي وتناقص في تركيز الغوانوزين أحادي الفوسفات الحلقي GMPc . ويتوافق هذا التطور مع توقف ناقلية أغشية العصي والمخاريط الجزء الخارجي لشوارد الصوديوم واستمرار خروج الصوديوم من الجزء الداخلي لأغشية العصي أو المخاريط مما يولد في مستواها فرط استقطاب Hyperpolarization .



الشكل رقم (100): تخطيط يظهر تأثير الضوء في الصباغ البصري للعصي

هذا الفعل يحد من تحرير الغلوتامات من الخلايا الحسية باتجاه العصبونات الثانوية عند طبقة المشابك الخارجية، الأمر الذي يوقف التأثير المباشر(خلية حسية – عصبون ثانوي)، وفي الوقت نفسه يعمل على إثارة الخلايا الأفقية المتصلة مع حقول الاستقبال الضوئي المركزية لتعمل على تثبيط الخلايا الحسية المحيطة بالمركز وإثارة المسلك البصري بالطريق غير المباشر(خلية حسية –خلية أفقية– عصبون ثانوي)، (الشكل رقم 101). الأمر الذي يسبب نزع استقطاب غشاء خلايا العصبونات ثنائية القطب وتشكيل كمون فعل ينتقل من العصبونات الثانوية إلى العصبونات العقدية عبر

طبقة المشابك الداخلية ليعدل فيها فعالية عصبية قائمة، ويتولد بالنهاية في سوية العصبونات العقدية إثر ذلك كمونات فعل يتعلق تواترها بالشدة الضوئية المؤثرة في المستقبلات الضوئية. تنتقل هذه الكمونات على طول ألياف العصب البصري إلى الفص القفوي في القشرة المخية حيث يتم إدراكها كحس شعوري بالصورة.

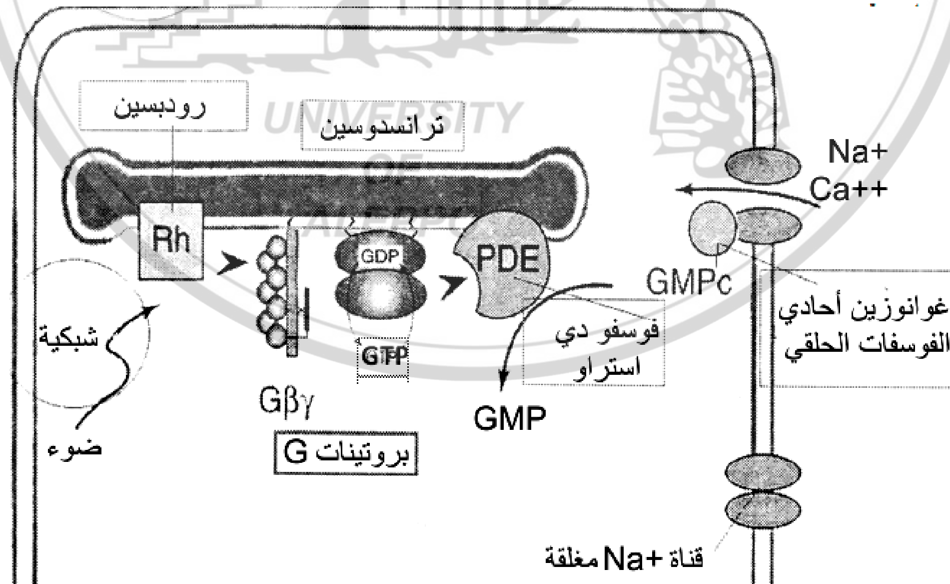


الشكل رقم (101): نمط استجابة عصبون ثانوي

مركزه فعال+ نمط استجابة عصبون ثانوي مركزه غير فعال

والحق أن بعض ما يجري ضمن المستقبلات الضوئية في أثناء تحويلها الطاقة الضوئية إلى دفعات عصبية مازال غامضاً. وفي هذا المجال يفترض أن امتصاص الصباغ البصري للطاقة الضوئية يؤدي إلى تفكيك الصباغ البصري وذلك بانفصال جزيء الكاروتين المفروق عن الابسين وتكوين ميتارودوبسين وهو الشكل الفعال للرودبسين. يعمل الميتارودوبسين كأنزيم يحرض بروتين يدعى الترانسيدوسين Transsducin الذي ينشط بدوره أنزيم فوسفو دي استراز Phospho de Esterase الذي يدخل في تركيب أغشية صفائح العصي والمخاريط.

يعمل أنزيم فوسفو دي استراز Phospho de Esterase على تحويل GMPc إلى GMP. وهذا ما يفسر انخفاض تركيز GMPc إثر اصطدام الضوء بالمستقبلات الضوئية. وللتذكير تعمل جزيئات GMPc في الظلام وبغياب التنبيه الضوئي على فتح قنوات الصوديوم في الجزء الخارجي لأغشية الخلايا الحسية نتيجة ارتباطها ببروتين القنوات الصودية. يعاد تركيب GMPc بتنظيم وإشراف شوارد الكالسيوم التي تتدفق إلى بلاسما المستقبلات الحسية بعد زوال التنبيه. تعمل شوارد الكالسيوم على تنشيط أنزيم سيكلاز Cycles الموجود في الخلية ليتوسط تركيب GMPc انطلاقاً من غوانوزين ثلاثي الفوسفات GTP، (الشكل رقم 102).



الشكل رقم (102): تخطيط يوضح الألية التي يؤثر فيها الضوء في عمل المستقبلات الضوئية على المستوى الجزيئي.

6- العوامل المحددة لدخول الضوء إلى العين :

تعاني الأشعة الضوئية عند اختراقها الأوساط الشفافة للعين عدة انكسارات تهدف إلى تجميع خيال الجسم المنظور فوق الشبكية. وتتعلق درجة انكسار الأشعة بمقدار انحناء السطوح الحدية الكاسرة للضوء، وبفرق قرينة الانكسار بين الأوساط الكاسرة للضوء في أثناء مرور الضوء نحو الشبكية وبالمسافة الفاصلة بين سطحين متتالين من سطوح الأوساط الكاسرة للضوء. ويشكل مجموع هذه المعايير القوة الكاسرة التي تقاس بالكسيرة Diopters وهي تساوي مقلوب البعد المحرقي للعدسة مقدراً بالأمتار. ولو تمكنا من إرجاع مجموع الأوساط الكاسرة في عين الإنسان إلى عدسة بسيطة فإن بعدها المحرقي يبلغ (0.017) م، وتبلغ قوتها الكاسرة في هذه الحالة (59) كسيرة، وتنطبق هذه القيم مع النظر إلى جسم يبعد عن العين أكثر من ستة أمتار.

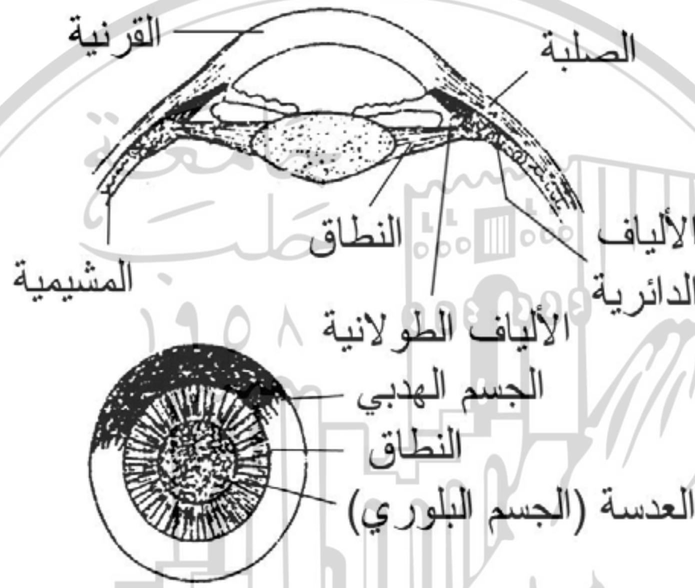
ولما كان المطلوب من العين كما هو شأن المطلوب من آلة التصوير، أي أن تتلاءم للعمل في شروط متبدلة وخاصة فيما يتعلق بمسافات الأشياء المراد إدراكها واختلاف الشدات الضوئية.

فعين الإنسان تلاءمت مع رؤية الأشياء البعيدة في أثناء الراحة، بسبب تتالي الأوساط الكاسرة للضوء (قرنية، خلط مائي، عدسة، خلط زجاجي) من جهة، وثبات قرائن انكسارها.

ولكن إذا ما أراد الإنسان رؤية جسم قريب يبعد عن العين أقل من ستة أمتار فإن خياله سوف يقع خلف الشبكية إذا لم يطرأ أي تبدل على الأوساط الكاسرة للضوء. وبما أن تتالي الأوساط غير قابل للتغير وقرائن الانكسار لتلك الأوساط ثابتة ما عدا العدسة التي يمكن أن تغير من قرينة انكسارها بفضل مرونتها وقابليتها للتحدب، فإن ذلك يزيد من قوة كسرها للضوء وهذا ما يسمى بعملية المطابقة Accommodation .

تتم المطابقة في عين الإنسان بتغير شكل العدسة، (الشكل رقم 103)، وذلك عن طريق تقلص العضلة الهدبية التي ترتبط بمحفظة العدسة بوساطة الرباط المعلق Suspensory Ligament. فأثناء الرؤية البعيدة تكون العضلة الهدبية مسترخية، وخيوط الرباط المعلق مشدودة، الأمر الذي يؤدي إلى تسطح العدسة وخاصة في قسمها الأمامي، وعندئذٍ تكون قدرة العدسة على كسر الضوء في حدودها الدنيا.

أثناء الرؤية القريبة يلاحظ مجموعة من التغيرات تطرا على العين: تضيق الحدقة وتصالب محوري الرؤية وتقلص العضلة الهدبية، وذلك بفضل الدفعات العصبية التي تصل إليها عبر ألياف العصب المحرك العيني (الفرع نظير الودي)، فيضعف شدها لخيوط الرباط المعلق مما يخفف من قوة الشد التي تمارسها تلك الخيوط على العدسة، الأمر الذي يسمح لها بزيادة تحدبها بالقدر المطلوب للمطابقة، فتزداد قدرتها الانكسارية للضوء.

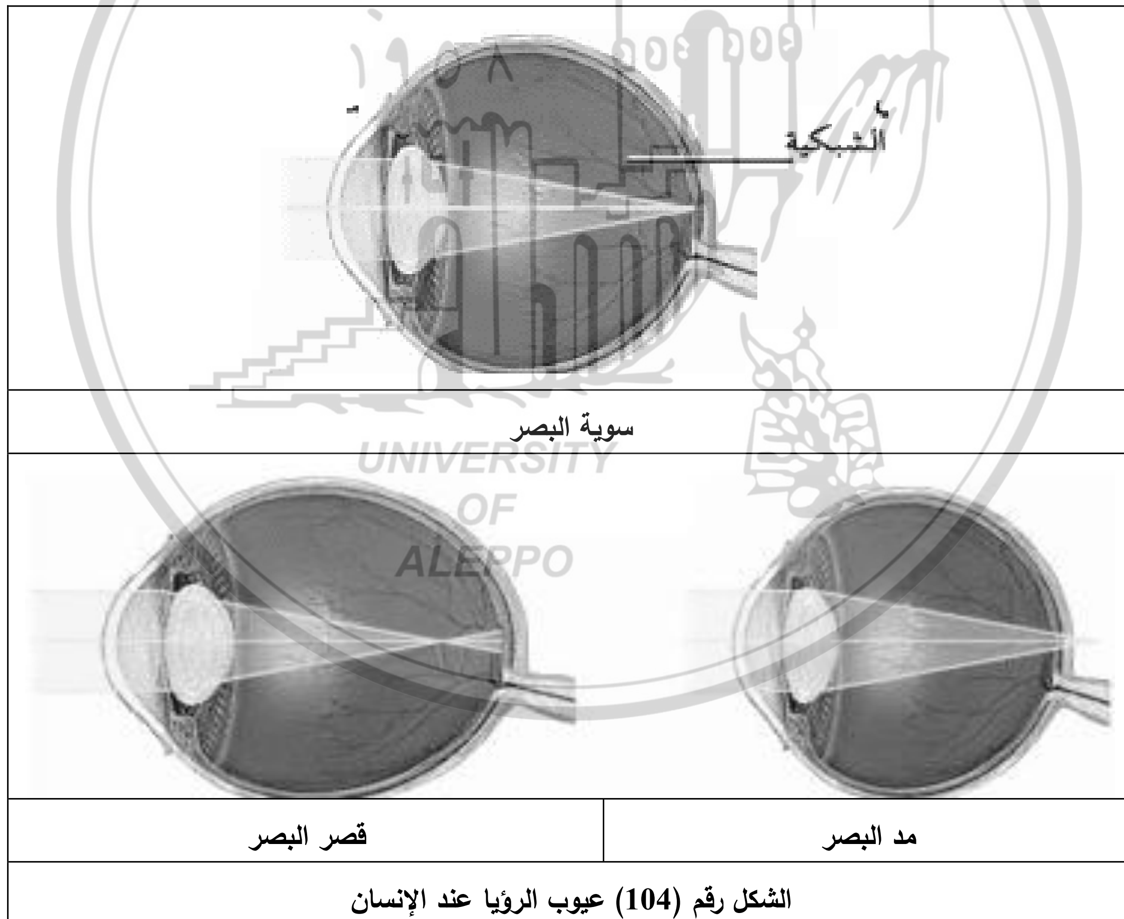


الشكل رقم (103): المطابقة في عين الإنسان

وتعد العين سوية البصر Emmetropia إذا وقع خيال الجسم المنظور على الشبكية عند رؤية الأجسام القريبة أو البعيدة وذلك بفضل المطابقة. هذا وإن مرونة العدسة وقابلية تحدبها تكونان مرتبطتين بالعمر، فمثلاً عند الأطفال يستمر تحدب العدسة مع استمرار اقتراب الشيء المنظور من العين ووصوله إلى مسافة تبعد عن العين (5) سم، في حين يلاحظ عند الأشخاص البالغين والذين تزيد أعمارهم على (40) سنة ضعفاً في تميز الأشياء التي يقل بعدها عن العين (20) سم بسبب نقصان قابلية تحدب العدسة، الأمر الذي يسبب ظهور عيوب العين المسماة بمد البصر الشيخوخي Presbyopia. ولكن إذا وجد خلل في البنية التشريحية لعين أو قصور في جهازها البصري فإنه يسبب في ظهور أحد أنماط عيوب الرؤية التالية، (الشكل رقم 104).

أ-الطمس (مد البصر Hyperopia): يتم خلاله وقوع الخيال خلف الشبكية عند النظر للأجسام البعيدة، بسبب إما قصر في طول المحور الأمامي الخلفي للعين أو إلى ضعف في القوة الكاسرة للعدسة. فالشخص المصاب بمد البصر لن يرى الأشياء البعيدة بوضوح، لذلك ينصح باستعمال عدسات محدبة مقربة ترفع من القوة الكاسرة للعين بالقدر الذي يساعد على نقل خيال الجسم المرئي من خلف الشبكية إلى الشبكية.

ب-الحسر (قصر البصر Myopia): يتم خلاله وقوع الخيال أمام الشبكية عند النظر للأجسام القريبة، بسبب إما زيادة طول المحور الأمامي الخلفي للعين أو إلى زيادة القوة الكاسرة للعين. فالشخص المصاب بقصر البصر لا يرى الأشياء القريبة بوضوح، لذلك ينصح باستعمال عدسات مقعرة مبعدة للأشعة تخفف من شدة كسر الأشعة وتساعد على نقل خيال الجسم المرئي من أمام الشبكية إلى الشبكية.



سوية البصر

مد البصر | قصر البصر

الشكل رقم (104) عيوب الرؤيا عند الإنسان

ج-حرج البصر أو اللابؤرية Astigmatism: فيه يقع جزء من خيال الجسم المرئي على الشبكية والأجزاء الأخرى تقع أمام الشبكية أو خلفها سواءً كان ذلك في رؤية الأجسام

القريبة أم رؤية الأجسام البعيدة. وسببه في الغالب يعود إلى عدم تساوي انحناء القرنية مما يعطي درجات مختلفة من الانكسار في مستويات مختلفة مؤدياً إلى عدم وضوح الرؤية، ويمكن تصحيح هذا العيب باستخدام عدسات اسطوانية تعطي انكسارات إضافية تصلح الخطأ وتساوي في انكسار الضوء في جميع الاتجاهات.

7- رؤية الأشياء المتحركة وإدراك الألوان:

ترتبط رؤية الأشياء المتحركة بانتقال خيال الجسم المرئي بالتتابع على حقول الاستقبال المتجاورة. وإذا علمنا أن خيال الصورة المرئية يبقى فترة قصيرة من الزمن في كل حقل استقبال تم تنبيهه، حيث تتشكل صور متلاحقة للجسم المتحرك على حقول الاستقبال المتجاورة.

ويؤدي التحام هذه الصور بعضها مع بعض إلى الإحساس برؤية الفعل المتحرك. وكما هو الحال في حدة الرؤية للأشياء الثابتة فإن عتبة التحام الصور المتلاحقة للفعل الذي نشعر بحركته يتعلق بمساحة الحقول التي تنطبع عليها الصور. فكلما صغرت مساحة الحقل تناقصت العتبة وهذا يعني رؤية الفعل المتحرك في ضوء النهار حيث تعمل المخاريط يكون أفضل من رؤيته في الضوء الخافت حيث تعمل العصي، لأن حقول الاستقبال الفعالة تكون أصغر في المخاريط.

أما حساسية المستقبلات الضوئية للألوان فتتعلق بشدة الضوء، ففي الضوء الخافت لا يمكن إدراك الألوان لأن العصي وحدها تتأثر بالضوء الخافت وأن صباغها البصري يمتص كامل أمواج الضوء المرئي، لذلك تبدو جميع الأشياء الملونة في هذه الحالة رمادية. أما في ضوء النهار فتظهر الأشياء بألوانها الحقيقية لأن شدة الضوء تكون كافية لإثارة المخاريط المسؤولة عن حس الألوان.

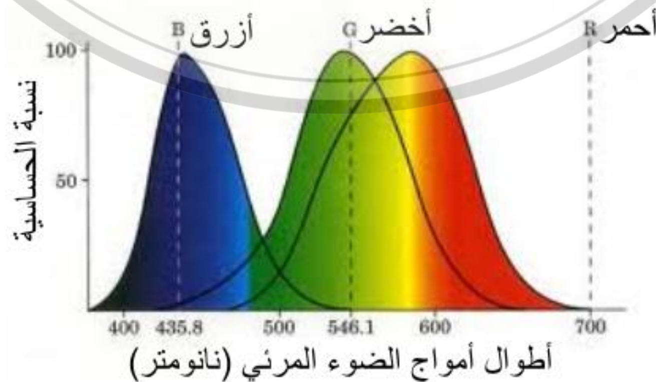
وبحسب النظرية اللونية الثلاثية يعتقد بوجود ثلاثة أنماط من المخاريط يحتوي كل منها على صباغ بصري ذي حساسية عالية لقطاع محدد من الضوء المرئي. وقد أثبتت القياسات الضوئية الطيفية الدقيقة صحة هذه النظرية عندما وجد أن ذروة امتصاص بعض المخاريط يكون على أشده للطيف الأزرق (430) نانومتر، وحساسية بعضها الأخر يكون أعظمياً للطيف الأخضر (530) نانومتر، وبعضها الآخر يكون على أشده للطيف

الأحمر(560) نانومتر. وتتناقص حساسية كل مجموعة باتجاه الأمواج الطويلة والقصيرة، أي إن منحنيات الحساسية للمجموعات الثلاثة تتداخل مع بعضها، (الشكل رقم 105).

هذا ويمكن للإشارات الحسية المتولدة في كل نمط من أنماط المخاريط أن تنتقل منفصلة إلى الدماغ أو يمكنها أن تتكامل مع المعلومات المتولدة في أحد النمطين أو مع كيليهما إما في مستوى الشبكية أو في القشرة المخية. فنحن نرى شيئاُ ما بلون أخضر نتيجة امتصاص هذا الشيء لجميع أمواج الطيف ما عدا مجالاً محدداً من أطوال أمواج الطيف التي تنعكس عن هذا الجسم وتؤثر في أنماط مخارط الشبكية بدرجات متفاوتة تترجم إلى دفعات عصبية حسية تنتقل إلى الدماغ برموز ذي ترددات محددة يترجمها الدماغ إلى إحساس باللون الأخضر، وتختلف هذه الترددات عن تلك التي يحدثها لون آخر .

أما الإحساس باللون الأسود، فينتج عن امتصاص الجسم المرئي ذي اللون الأسود كامل أمواج الضوء المرئي ولا يرتد منها شيء إلى العين، بينما ينتج الإحساس بالأبيض عن ارتداد كامل أمواج الضوء المرئي عن الجسم المنظور ليؤثر في مجموعات المخاريط بشكل متساو.

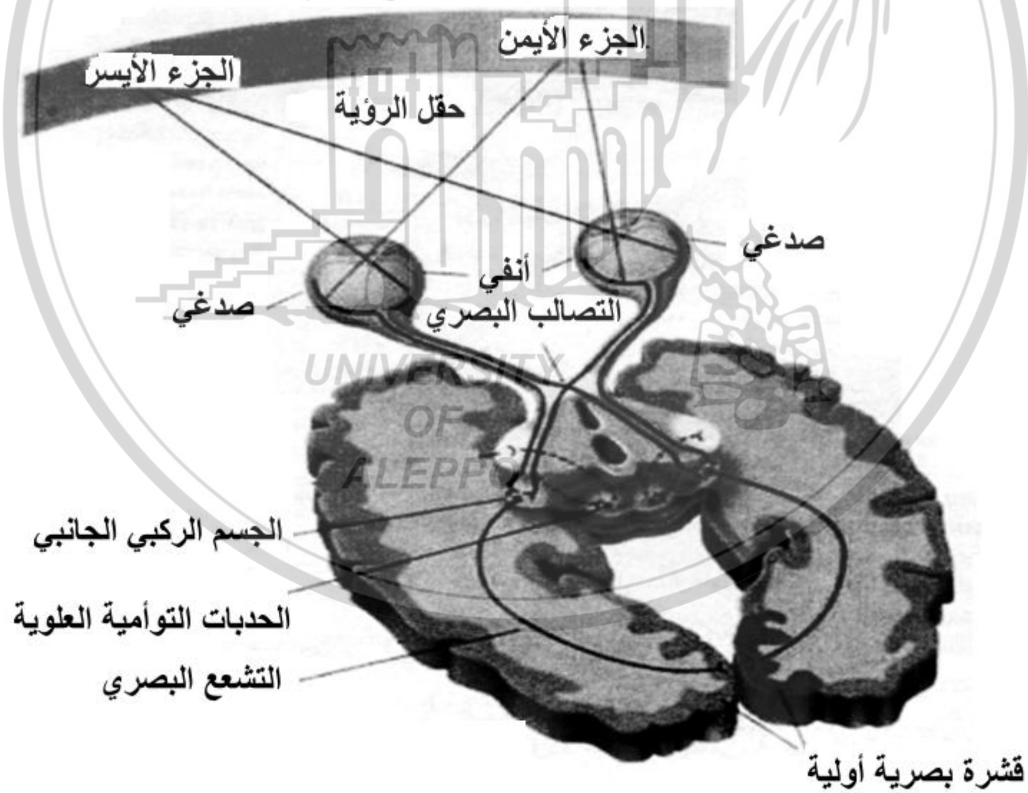
وفيما يتعلق بالتلاؤم مع الشدات الضوئية فهذا يعود إلى تغير فتحة الحدقة نتيجة اختلاف كمية الضوء الواردة إلى العين. ففي الشدات الضوئية الكبيرة تتضيق الحدقة انعكاسياً بفضل تقلص العضلات الدائرية للقزحية المعصبة بألياف نظيرة الودية، أما في حالة نقصان الشدة الضوئية فإن الحدقة تتوسع انعكاسياً بفضل تقلص العضلات الشعاعية للقزحية المعصبة بألياف ودية.



الشكل رقم (105): النظرية اللونية تظهر حساسية كل مخروط لقطاع محدد من الضوء المرئي.

8- المسلك العصبي البصري:

يبدأ المسلك العصبي البصري من المستقبلات الضوئية في شبكية العين فالعصبونات ثنائية القطب فالخلايا العقدية التي تشكل محاورها العصب البصري. الأشعة القادمة من حقل الرؤية في اليسار مثلا تسقط على القسم الأنسي(القسم الأنفي) لشبكية العين اليسرى والقسم الوحشي (القسم الصدغي) لشبكية العين اليمنى. فبعد أن تغادر الدفعات العصبية شبكيتي العين تسري عبر العصبين البصريين وحذاء التصالبة البصرية تعبر الألياف كلها القادمة من النصف الأنفي لكلتا الشبكيتين إلى الجانب المقابل، حيث تنضم إلى الألياف القادمة من الجزء الصدغي لكلتا الشبكيتين مشكلين مسلك بصري. تتشابك ألياف المسلك البصري القادم من حقل الرؤيا الأيسر في الجسم الركبي الجانبي أو الوحشي Lateral Geniculate Body في المهاد البصري، الذي ينطلق منه تشعع بصري ينتهي في الفص القفوي Occipital lobe من القشرة المخية، (الشكل رقم 106).



الشكل رقم (106): المسلك العصبي البصري

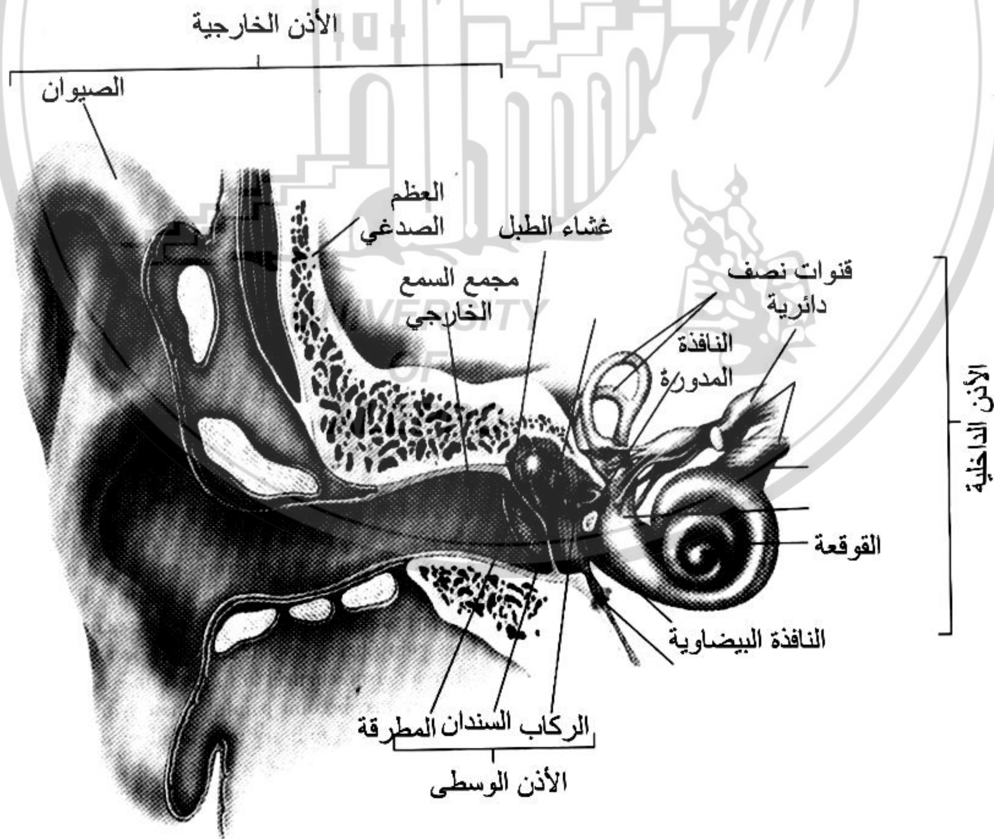
رابعاً: حاسة السمع Hearing Sense

السمع هو مجموعة الوظائف التي تؤدي إلى الحس بالاهتزازات الصوتية الصادرة عن الأجسام المختلفة، والتي تنتقل إلى الأذن فتنبهها، وتتولد نتيجة لذلك دفعات عصبية تنتقل عبر ألياف العصب السمعي إلى الفص الصدغي من القشرة المخية لتفسيرها وإعطاء مدلولاتها السمعية.

1- بنية الأذن عند الإنسان:

تتألف أذن الإنسان من ثلاثة أقسام، (الشكل رقم 107):

أ- الأذن الخارجية External Ear: تشمل الصيوان Auricle ومجرى السمع الخارجي External Auditory Meatus. أما الصيوان فله بنية غضروفية ويحوي تعاريج وظيفتها جمع الأمواج الصوتية وتوجيهها نحو مجرى السمع الخارجي باتجاه غشاء الطبل Tympanic Membrane.



الشكل رقم (107): بنية الأذن عند الانسان

بينما مجرى السمع الخارجي External Auditory Meatus يحتوي على خلايا ذات طبيعة إفرازية تفرز مواد صملاخية وظيفتها التقاط العناصر الغريبة الداخلة إلى الأذن.

إضافة إلى ذلك وعند الحيوانات مثل الكلاب والخيول تتصل قاعدة الأذن الخارجية بعضلات تؤمن حركة الصيوان في اتجاه مصدر الصوت، علماً بأن هذه الوظيفة أصبحت أثرية عند الإنسان إذ استعيض عنها بمنعكسات تحرك العينين والرأس والجسم كله نحو مصدر الصوت.

ب- الأذن الوسطى Middle Ear: هي عبارة عن جوف محفور في العظم الصدغي، يبطن بغشاء مخاطي ويملأ بالهواء. وتتصل الأذن الوسطى بالبلعوم الأنفي عبر نفير اوستاش Eustachiumالذي يسمح بتوازن ضغط الهواء في الأذن الوسطى والضغط الخارجي. وفي الحالات الطبيعية يبقى نفير اوستاش مغلقاً لتحاشي تأثير عمليات التهوية في الضغط في الأذن الوسطى، في حين يفتح جزيئاً أثناء بلع الطعام ليتعادل الضغط مع الوسط الخارجي. يفصل الأذن الوسطى عن الأذن الخارجية غشاء الطبل، وتنقل الاهتزازات الواصلة إليه عبر الأذن الوسطى إلى النافذة البيضاوية Oval window. كما تحتوي الأذن الوسطى على عظيمات السمع الممثلة بـ المطرقة Malleus التي تكون قبضتها مثبتة على مركز غشاء الطبل، أما النهاية الأخرى للمطرقة فترتبط بقوة بالسندان Incus بوساطة أربطة، وتتمفصل النهاية المقابلة من السندان مع عظم الركاب Stapes، بينما تتوضع الصفيحة الركابية عند فوهة النافذة البيضاوية. وتفتح النافذة البيضاوية على المجرى الدهليزي Scale vestibule للقوقعة الحاوي على اللمف الخارجي Perilymph . تعمل عظيمات السمع مع غشاء الطبل والنافذة البيضاوية على تحسين نقل الطاقة الميكانيكية من الهواء إلى الوسط السائل في الأذن الداخلية. إذ لا تقتصر وظيفة غشاء الطبل وعظيمات السمع على نقل الاهتزازات إلى القوقعة بل تعمل على تضخيمها وتركيزها وذلك بفضل مساحة غشاء الطبل التي تزيد (17) مرة عن مساحة سطح عظم الركاب. وبهذا الشكل تقوم عظيمات السمع بتحويل الموجات الصوتية من منطقة ذات سطح كبير وانتقالها

وتركيزها على سطح صغير خاص بالنافذة البيضاوية، ونتيجة لذلك يحصل عظم الركاب على اهتزازات صوتية منخفضة السعة ولكنها مضاعفة القوة تصل قوتها إلى حوالي (22) ضعفاً مما أحدثته هذه الاهتزازات على غشاء الطبل. وهذه القوة تكون كافية لدفع اللمف الداخلي Endolymph واللمف الخارجي Perilymph للقوقعة وبالتالي إيصال التنبيه إلى مستقبلات السمع. وبما أن السائل اللمفي غير قابل للانضغاط، الأمر الذي يفسر وجود نافذة مدورة Round window على الجدار الفاصل بين الأذن الداخلية والوسطى والتي تكون مغلقة بغشاء طبلي ثانوي، ففي كل مرة يندفع فيها عظم الركاب إلى داخل النافذة البيضاوية بفعل الاهتزازات التي تنقلها عظيمات السمع من غشاء الطبل ليضغط بذلك على السائل اللمفي للقوقعة، يندفع غشاء النافذة المدورة باتجاه الأذن الوسطى. ويتحقق توتر واسترخاء سلسلة عظيمات السمع بمساعدة عضلتين صغيرتين تتوضعان في الأذن الوسطى:

- العضلة الشاده الطبلية Tensotympam Muscle: ترتكز على قبضة المطرقة وتقوم بشد غشاء الطبل نحو الداخل، الأمر الذي يبقي غشاء الطبل مشدوداً ويسمح بانتقال الأمواج الصوتية من كل جزء من غشاء الطبل إلى المطرقة. وعند تقلص هذه العضلة تسحب غشاء الطبل إلى داخل الأذن الوسطى مما يسبب دفع عظم الركاب إلى داخل النافذة البيضاوية.
- العضلة الشاده الركابية Stapedius Muscle: ترتكز على عنق عظم الركاب، وظيفتها دفع عظم الركاب إلى خارج النافذة البيضاوية عند تقلصها.

يؤدي تقلص هاتين العضلتين مع بعضهما إلى تثبيت المطرقة والركاب فتقل سعة الاهتزاز وتضعف من شدة نقل الصوت إلى داخل الأذن الداخلية وهذا ما يحدث في البيئة الصاخبة. ويحدث هذا المنعكس بعد فترة كمون قدرها (80) ملي ثانية يؤدي إلى تقلص العضلة الشاده الركابية والعضلة الشاده الطبلية. وتعاكس هاتان القوتان بعضهما البعض لذلك فهما ينتجان درجة عالية من الثبات في كامل جهاز العظيمات، الأمر الذي ينقص نقل العظيمات للترددات الصوتية المنخفضة ولاسيما التي لا تقل عن (1000) هرتز. وقد يكون لهذه الألية وظيفة مضاعفة وهي حماية

الأذن الداخليــة مــن تــأثير الأمــواج ذات التــرددات العاليــة وإخفــاء الأصــوات ذات الترددات المنخفضة في البيئة الصاخبة.

وبغياب جهاز العظيمات والطبلة يمكن أن تنقل الأمواج الصوتية من خلال عظام الجمجمة بفضل إمكانيتها للنقل الصوتي مباشرة إلى هواء الأذن الوسطى وأن تدخل القوقعة عبر النافذة البيضاوية، علماً بأن حساسية السمع ستكون أقل بـ (20) ديسبل من حساسيته بوجود جهاز العظيمات.

ج- الأذن الداخلية Internal Ear: عبارة عن جوف محفور في العظم الصدغي يدعى التيه العظمي، الذي يحيط بمجموعة من التجاويف والممرات تبطن جملة غشائية تعرف بالتيه الغشائي. يتوضع ما بين التيهين سائل يدعى اللمف الخارجي الذي يشبه تركيبه تركيب السائل خارج خلوي. أما في داخل التيه الغشائي (المجرى القوقعي للقوقعة والكييس والقريبة والقنوات نصف الدائرية) فيلاحظ اللمف الداخلي الذي يماثل تركيبه تركيب السائل داخل خلوي. كما يدخل في تركيب الأذن الداخلية كل من الدهليز Vestibule وتتوضع فيه مستقبلات التوازن، والقوقعة Cochlea وتتوضع فيها مستقبلات السمع.

ترتبط الوظيفة السمعية بالقوقعة الممثلة بقناة حلزونية ملتفة بمقدار (2.5) لفة وتقسم طولياً بواسطة الغشاء القاعدي وغشاء رايسنر إلى ثلاثة أجواف، (الشكل رقم 108):

1- المجرى الدهليزي Scale Vestibule: (في الأعلى)، ينفصل المجرى الدهليزي عن المجرى القوقعي بغشاء رايسنر ويمتلئ باللمف الخارجي وينفتح على الأذن الوسطى بواسطة القناة البيضاوية.

2- المجرى الطبلي Scale Tympani: (في الأسفل)، ينفصل المجرى الطبلي عن المجرى القوقعي بالغشاء القاعدي ويمتلئ باللمف الخارجي وينفتح على الأذن الوسطى بالنافذة المدورة المغلقة بغشاء مرن. هذا ويتصل المجرى الدهليزي مع المجرى الطبلي عند قمة القوقعة بفتحة صغيرة تدعى الكوة الحلزونية Holicotrema.

3- المجرى القوقعي Scale Cochllares: يوجد ضمنه عضو كورتي و يمتلئ باللمف الداخلي وتتكون أرضيته من الغشاء القاعدي. وهو مفصول عن المجريين انفصال تام.

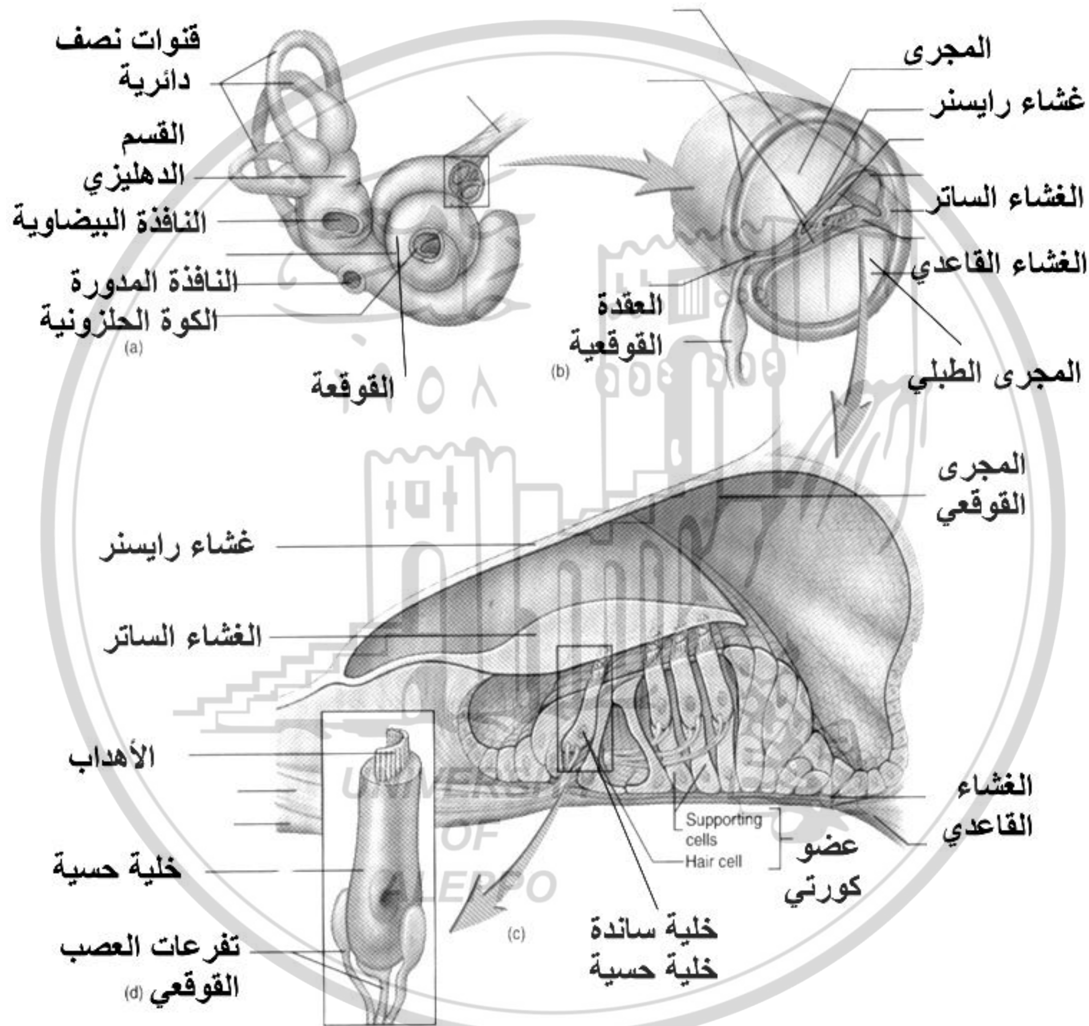
الغشاء القاعدي Basilar Membrane: وهو غشاء ليفي يحتوي على (30) ألف ليف قاعدي، وهذه الألياف بين قاسية ومرنة تتثبت قواعدها في البنية العظمية للقوقعة ولكن تبقى نهاياتها حرة. تزايد أطوال الألياف القاعدية بالتدريج ينقص قساوتها، الأمر الذي يفسر اهتزاز الألياف القصيرة بتردد مرتفع في حين تهتز الألياف الطويلة بتردد منخفض. وبما أن الغشاء القاعدي غير مثبت بقوة في سرة القوقعة، فهو يتجاوب مع حركة اللمف الداخلي صعوداً وهبوطاً، الأمر الذي يغير العلاقة اللمسية بين أهداب الخلايا الحسية المهدبة والغشاء الساتر وتشكيل كمون المستقبلة.

- غشاء رايسنر: هو غشاء رفيع ذو خواص مرنة يتحرك بسهولة ولا يعترض مرور الاهتزازات الصوتية من المجرى الدهليزي إلى المجرى القوقعي، لذلك تكمن أهميته في الحفاظ على اللمف الداخلي من التغير.
- عضو كورتي: هو عضو الاستقبال السمعي الذي يتألف من خلايا حسية مهدبة وخلايا داعمة. تتوضع الخلايا الحسية المهدبة في صفوف على طول القوقعة إذ يبلغ عدد هذه الخلايا في أذن الإنسان حوالي (24) ألف خلية حسية مهدبة ، تتبارز أهدابها في اللمف الداخلي ضمن المجرى القوقعي. ويعلو الخلايا الحسية المهدبة غشاء ساتر يكون مثبتا بقوة في سرة القوقعة. أما قواعد الخلايا الحسية المهدبة وحوفها فتتشابك مع ألياف دقيقة من العصب السمعي (الفرع القوقعي) التي تقع أجسام خلاياه في العقدة الحلزونية. تعمل الخلايا الحسية المهدبة كمستقبلات ميكانيكية تتنبه بثني الأهداب بفعل الأمواج الصوتية.

2- ألية السمع:

يلعب صيوان الأذن دوراً مهماً في جمع الأصوات ونقلها عبر مجرى السمع إلى غشاء الطبل دون أن يبدل في شدتها. وللتغلب على فرق المعاوقة السمعية Acoustic Impedance بين الهواء ولمف الأذن الداخلية تقوم عظيمات السمع بتحويل اهتزازات

غشاء الطبل إلى اهتزازات قليلة السعة ولكنها عالية القوة عند عظم الركاب، حيث ينتج عن كل اندفاع عن غشاء الطبل نحو الداخل اندفاع مماثل للصفحية الركابية نحو الداخل مسبباً تحريك اللمف الخارجي للمجرى الدهليزي. فحركة اللمف الخارجي تسبب في اهتزاز غشاء رايسنر(الغشاء الدهليزي) وتحريك اللمف الداخلي الذي يتجاوب معه الغشاء القاعدي مسبباً في تحريكه.



الشكل رقم (108): بنية القوقعة عند الإنسان

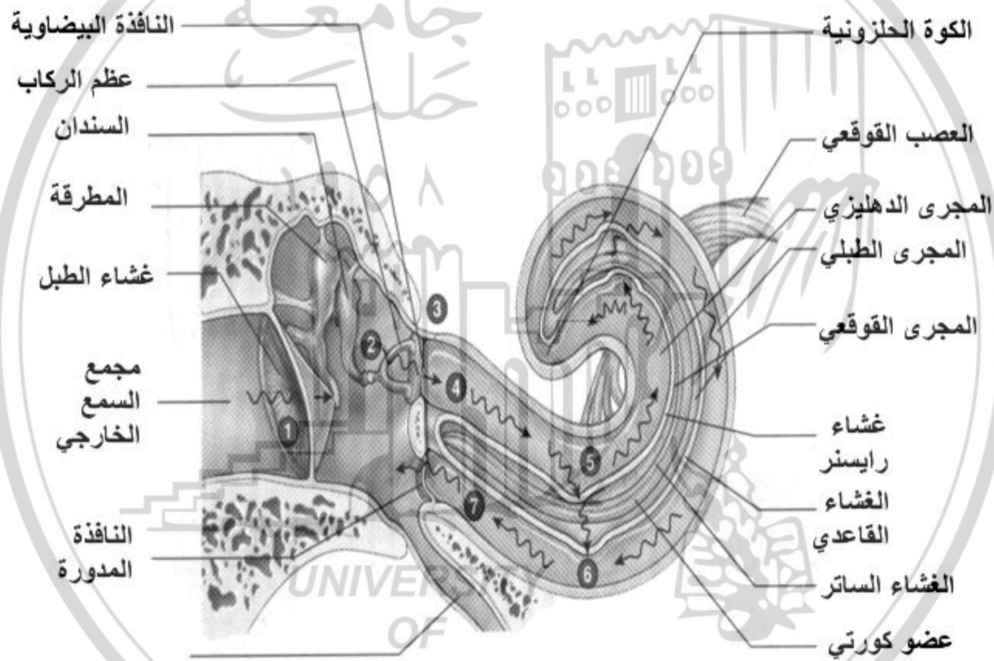
إضافة إلى ذلك تنتقل موجات الضغط الناتجة عن اهتزاز الصفيحة الركابية بفعل تغيرات ضغط الأصوات باتجاه ذروة القوقعة لتنتقل بعدها إلى اللمف الخارجي في المجرى الطبلي شريطة امتثال غشاء النافذة المدورة للحركة والاندفاع نحو الخارج. وبما أن الغشاء القاعدي لا يشكل حاجزاً صلباً فإنه يتجاوب مع اهتزاز الصفيحة الركابية بتماوج سطحه

صعوداً وهبوطاً، الأمر الذي يغير العلاقة اللمسية بين أهداب الخلايا الحسية والغشاء الساتر Tectorial Membrane على نحو أشبه ما يكون بتأثير فعل القص (ثني الأهداب). هذا ويؤدي ثني الأهداب (منبه ميكانيكي) إلى تغير في الصفات الفيزيائية والكيميائية والحيوية لأغشية الخلايا الحسية المهدبة، الأمر الذي يؤدي إلى فتح القنوات الصودية – الكلسية وانتقال كثيف لشوارد الصوديوم والكالسيوم من المجرى القوقعي إلى داخل الخلايا الحسية المهدبة، (الشكل رقم 109). دخول شوارد الصوديوم يؤدي إلى نزع استقطاب أغشيتها وتشكيل كمون مستقبلة (ميكروفوني)، بينما دخول شوارد الكالسيوم يسبب في تحرير الناقل من جهة السطح القاعدي للخلايا الحسية مما يولد كمون مولد، إذا ما بلغ هذا الكمون حد العتبة المجدية ولد كمون عمل يسري عبر ألياف العصب السمعي (الفرع القوقعي) الفص الصدغي في القشرة المخية.

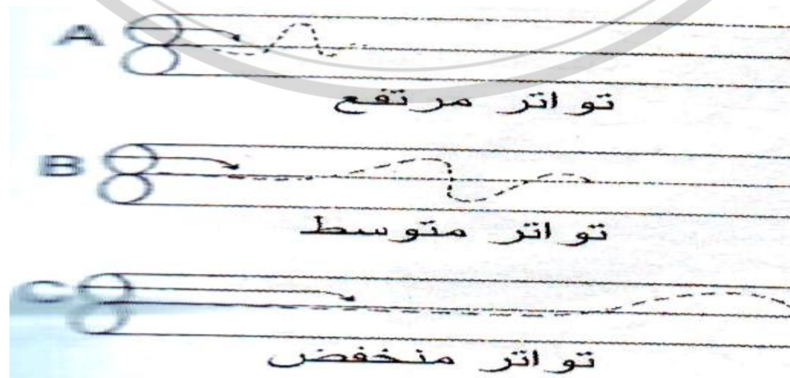
كما تلعب القوقعة دوراً مهماً بالإضافة إلى تحويل الاهتزازات الصوتية إلى طاقة كهربائية بتحليل لتواترات الصوت المركب بسبب البنية الطنينية للقوقعة والتي تختلف الأجسام المهتزة فيها باختلاف التواترات الواصلة إليها. يلعب الغشاء القاعدي دوراً أساسياً في تحليل ترددات الصوت المركب وذلك بسبب بنيته فهو يكون ضيقاً وأكثر صلابة عند قاعدته بالقرب من النافذة البيضاوية بحيث يبلغ عرضه في تلك المنطقة بحدود 40 ميكرو ميتراً ويزداد عرضه باتجاه الكوة الحلزونية ليصل إلى 500 ميكروميتر عند قمة القوقعة. ويعطي هذا التبدل في عرض الغشاء خصائص ميكانيكية مختلفة بحيث تتناقص مقاومة الغشاء وتزداد مرونته بالتدريج من القاعدة باتجاه القمة. إضافة إلى ذلك وجد أن كل ليف من ألياف العصب القوقعي له عتبة تنبيه، أي الصوت ذو التردد المعين غير قادر على تنبيه جميع ألياف العصب السمعي، فهذا يعني أن قسماً من الألياف يتفعل عند شدات عالية، والبعض الآخر يتفعل عند شدات منخفضة.

أما تجارب العالم فون بيكاسي الخاصة بمكان تمييز طبقات الصوت توضح أن اهتزاز عظم الركاب بتأثير الصوت الصافي يثير في الغشاء القاعدي موجات اهتزازية مسافرة تبلغ أقصى سعة لها عند نقطة معينة من الغشاء القاعدي ثم تتخامد بسرعة، (الشكل رقم 110). وقد وجد أن هذه المنطقة تكون قريبة من قاعدة القوقعة وتقترب هذه المنطقة من قمة القوقعة كلما انخفضت شدة الصوت. ولما كانت الخلايا الحسية المهدبة

مرتبة في صفوف منتظمة على الغشاء القاعدي والألياف العصبية موزعة على نحو منتظم في تعصيبها لهذه الخلايا، فإن كل صوت ذي تردد معين يؤدي إلى اهتزاز موضع معين من الغشاء القاعدي وبالتالي يغير العلاقة اللمسية بين الخلايا الحسية المهدبة المحمولة على ذلك الموضع والغشاء الساتر، فتتنبه الخلايا الحسية نتيجة انثناء أهدابها وبثها لدفعات عصبية تسري عبر مجموعة من ألياف العصب السمعي إلى منطقة من الفص الصدغي يتعرف من خلالها على طبقة الصوت المؤثرة، لأن الدفعة العصبية الواردة من جزء خاص من عضو كورتي تسلك مجموعة من الألياف العصبية الخاصة بذلك الموضع من الفص الصدغي دون غيره.



الشكل رقم (109): ألية السمع عند الإنسان.



الشكل رقم (110): الأمواج المسافرة حسب نظرية العالم فون بيكاسي

والدليل على ذلك أنه عند استئصال جزء من عضو كورتي عند الكلب لوحظ أن هذا الحيوان فقد القدرة على سماع الصوت ذي التواتر الخاص بمنطقة الاستئصال .

3- ظاهرة الحجب:

من المعروف أن قدرة الإنسان على السمع تنقص عند تداخل الأصوات مع بعضها البعض، والسبب في ذلك يعود إلى ظاهرة الحجب التي تعني انشغال المستقبلات السمعية وألياف العصب السمعي بما يسمى بالتمنع المطلق والتمنع النسبي.

- التمنع المطلق: يحدث عندما ترد أصوات ذات ترددات عالية تؤدي إلى تفعيل جميع ألياف العصب السمعي، الأمر الذي يفسر عدم امكانية سماع أصوات أخرى.
- التمنع النسبي: يحدث عندما ترد أصوات ذات ترددات منخفضة تؤدي إلى تفعيل جزء من ألياف العصب السمعي ويبقى جزء من الألياف غير مفعل مما يمكننا سماع أصوات أخرى.

4- حساسية الأذن للمنبهات السمعية:

الأمواج الصوتية هي عبارة عن حركة اهتزازية لجزيئات الوسط الذي تعبر خلاله الموجة والتي تبلغ سرعتها في الهواء حوالي (344) م/ ثا وذلك عند مستوى سطح البحر ودرجة حرارة (20) مئوية. علماً أن هذه السرعة تزداد عند ارتفاع درجات الحرارة وعند الارتفاع عن سطح البحر. وتدعى الموجة الكاملة من بدايتها إلى نهايتها بالدورة، وتكرار الدورات في الثانية الواحدة يدعى بالذبذبة أو التردد وتقدر بالهرتز.

وباعتبار أن الصوت هو حادثة فيزيائية تنجم عن حركة الجزيئات في الوسط المحيط، فلكل صوت صفاته من حيث طبيعة الصوت وطبقته التي تتعلق بعدد الموجات الصوتية:

أ-علو الصوت (شدة الصوت): تحدد شدة الصوت من خلال طول الموجة، فكلما ازداد طول الموجة زادت شدة الصوت، و تقدر شدة الصوت بواحدة هي البيل وهي قيمة لوغاريتمية تعطى بالعلاقة:

$$\text{البيل} = \text{لغ} \frac{\text{شدة الصوت}}{\text{شدة الصوت القياسي}}$$

الصوت القياسي: وهو الحد العتبوي للسمع عند الانسان السوي.

ونظرا لأن وحدة البيل كبيرة تستخدم عادة الديسبيل التي تساوي 0.1 من البيل أي إن كل (0.1) بيل = (1) ديسبل. ونظراً لكون الديسبل مقياس لوغاريتمي، فالصوت الذي شدته صفر ديسبل لا يعني مطلقاً عدم وجود صوت ولكن يعني أن شدة ذلك الصوت تساوي الحد الادنى للسمع.

ب–طبقة الصوت (حدة الصوت): تحدد طبقة الصوت بعدد الموجات الصوتية في واحدة الزمن وتقاس بالهرتز. وعندما تكون الأصوات ذات موجات منتظمة ومتناظرة وتتكرر بسرعة ثابتة تدعى النبرة، والتي تتحسس لها المنطقة الأمامية والجانبية من الباحة السمعية في القشرة المخية، بينما عندما تكون الأصوات موجات غير منتظمة غير متناظرة وتتكرر سرعاتها بشكل غير منتظم تدعى ضجيجاً، والتي تتحسس لها المنطقة الخلفية والداخلية للباحة السمعية في القشرة المخية.

تتحسس الأذن عند الحيوانات لمجال واسع من الأصوات، التي تختلف في شدتها وعدد تردداتها وأنواعها .وقد لوحظ أن الطيف التوتري للسمع عن الإنسان يقع ما بين (20–20000) ذبذبة/ثانية.

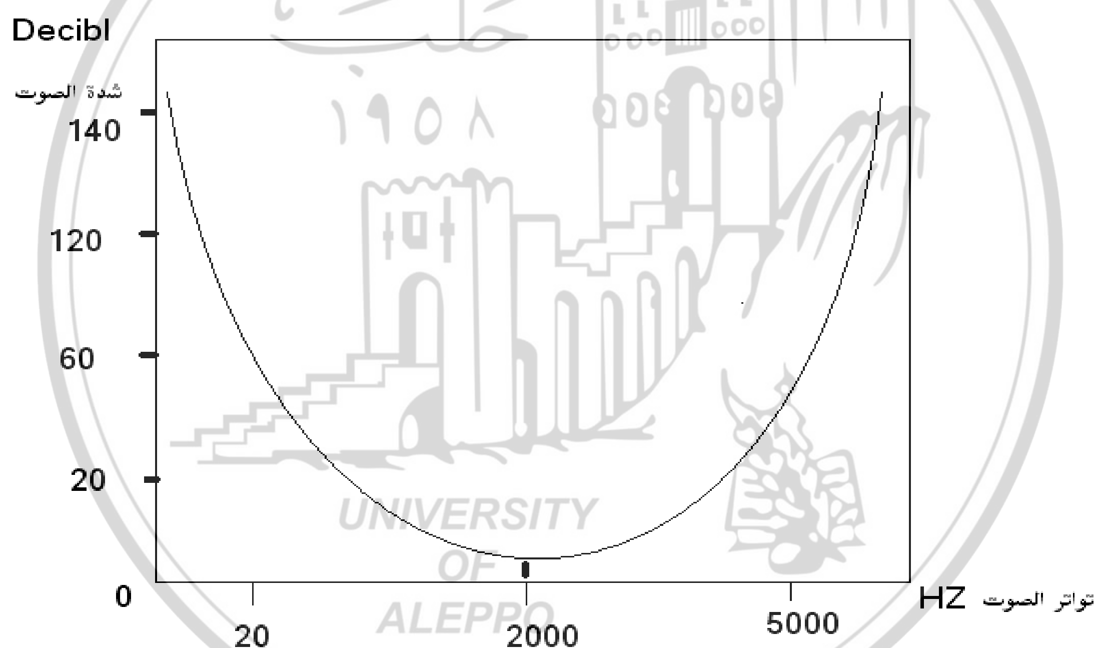
وتعرف الشدة الصوتية بأنها كمية الطاقة التي تؤثر في (1)سم^2 من الوسط في أثناء مرور الموجة الصوتية، ومن أجل تحديد شدة الصوت اللازمة لسماع أصوات صافية ذات ترددات مختلفة عند الإنسان تم رسم مخطط السمع والذي يبين أن العتبة الدنيا المطلوبة للسمع هي أدنى نقطة في منحى الطيف التواتري وتقدر بـ (2000) هرتز.

ويبين هذا مخطط السمع أيضاً أن عتبة الشدة الصوتية تزداد كلما اتجه التواتر نحو نهايتي الطيف التواتري الصوتي. علماُ بأن الحد العالي للطيف التواتري يتناقص مع تقدم العمر، بدليل أن الحد العالي للطيف التواتري عند الصغار يصل إلى (20)ألف ذبذبة/ثانية، في حين يتناقص عند كبار السن ليصل إلى (10) ألاف ذبذبة /ثانية. أما في حال رفعنا شدة الصوت إلى حد عالٍ، فإن الصوت عندئذ يولد إحساساً بالوخز والحكة، وإذا ازدادت الشدة أكثر عندها يولد إحساساً مؤلماً في الأذن، (الشكل رقم 111).

5- تحديد جهة الصوت:

يعتمد في تحديد جهة الصوت على الفوارق الضئيلة في شدة الصوت وفي زمن وصوله إلى الأذينتين، وكذلك على الفرق في طول الموجة الصوتية.

فالصوت الذي يصل إلى الأذن اليمنى قبل بضعة أجزاء من الميلي ثانية من وصوله إلى الأذن اليسرى يجري التعرف عليه أنه آت من الجهة اليمنى. فالفرق في زمن وصول الصوت إلى الأذنين يكون مهماً في تحديد جهة الصوت بالنسبة للأصوات التي ترددها أقل من (3000) ذبذبة /ثا، بينما يكون الفرق في شدة الصوت مهماً في تحديد جهة الصوت بالنسبة للأصوات التي يزيد ترددها عن (3000) ذبذبة /ثا، لأن الرأس وصيوان الأذن يعملان كساتر يؤدي إلى حدوث فروق في شدة الصوت.



الشكل رقم (111): مخطط حساسية الأصوات عند الإنسان

أما بالنسبة لدور طول الموجة في تحديد جهة الصوت فهو ممكن فقط عندما يكون طول الموجة أكبر بمرتين من المسافة الفاصلة بين صيواني الأذن. وتتم عملية تحديد جهة الصوت في النواة الزيتونية العلوية التي تقسم إلى قسمين:

أ-النواة الزيتونية العلوية الوحشية، وتلعب دوراً في تحديد جهة الصوت اعتماداً على الفوارق الضئيلة بين شدتي الصوت الذي يصل إلى كلتا الأذنين.

ب–النواة الزيتونية العلوية الأنسية: وتلعب دوراً في تحديد جهة الصوت اعتماداً على الفارق الزمني بين دخول الأصوات إلى كلتا الأذنين.

6- المسلك العصبي السمعي:

ينتقل الكمون الميكرفوني (كمون المستقبلة) من عضو كورتي إلى النهايات العصبية المتشابكة مع قواعد الخلايا الحسية المهدبة. ومن هذه النهايات إلى العقدة الحلزونية التي تشكل محاويرها ألياف العصب القوقعي والتي تنتهي إلى النوى القوقعية الظهرية والبطنية الموجودة في القسم العلوي للبصلة السيسائية .ينتقل القسم الأكبر من ألياف النوى القوقعية الظهرية البطنية إلى الجهة المقابلة من جذع الدماغ عبر الجسم شبه المنحرف إلى النواة الزيتونية العلوية، في حين ينتقل القسم المتبقي من ألياف النوى القوقعية الظهرية البطنية إلى النواة الزيتونية العلوية الموافقة.

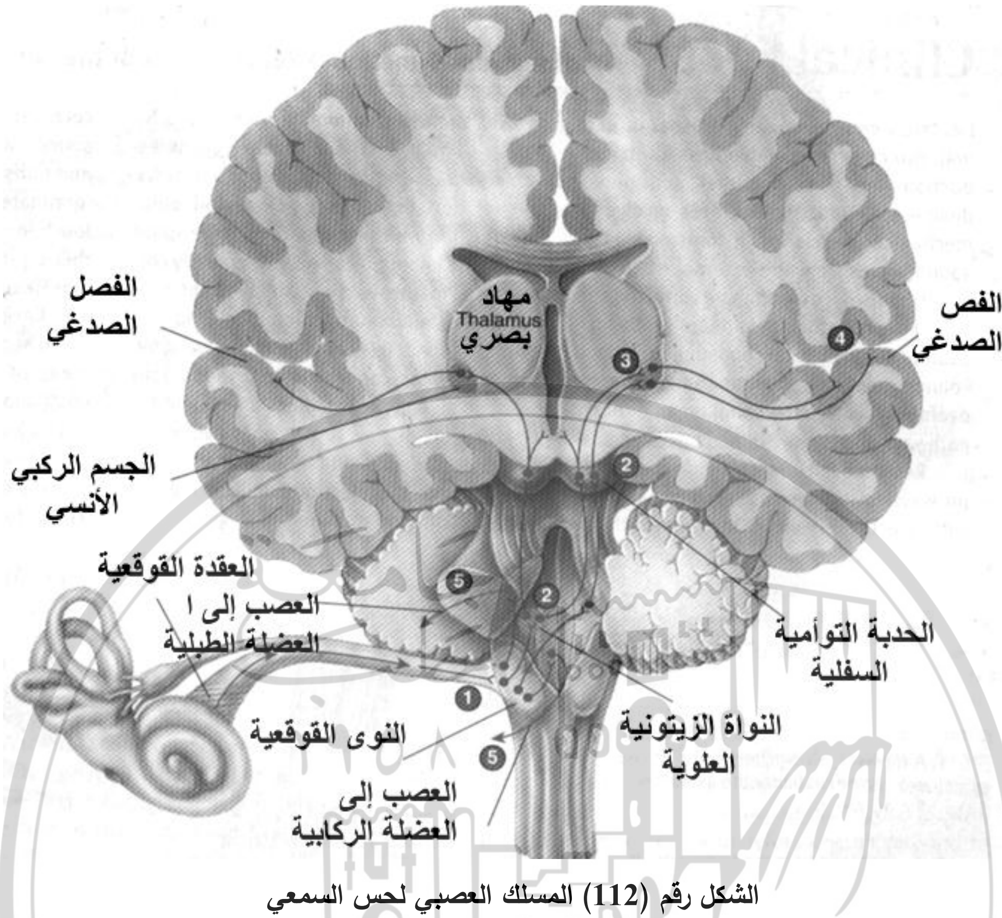
ومن النواة الزيتونية العلوية Olivocerebellar Superior.N في كلا الطرفين يتابع المسلك السمعي مسيره نحو الحدبات التوأمية السفلية في الدماغ المتوسط. ومن الحدبات التوأمية السفلية Colliculus Interior يتابع المسلك السمعي مسيره نحو الجسم الركبي الأنسي أو المتوسط Corpus Geniculate Medial في المهاد البصري حيث محطة تحويل على الطريق الحسي السمعي. ومن الجسم الركبي الأنسي ينطلق إكليل مشع نحو الباحات السمعية في الفص الصدغي في القشرة المخية، (الشكل رقم112).

7- الصمم وأنماطه:

الصمم هو نقص السمع الجزئي أو التام، ويقسم الصمم إلى نمطين:

A- الصمم التوصيلي Condition Deafness: وينجم عن خلل في آليات نقل الأمواج الصوتية (أذية في الأذن الخارجية أو الأذن الوسطى)، كتليف الأذن الوسطى من إنتان متكرر يسبب مرض يدعى تصلب الأذن، أو نمو عظمي مفرط على حواف النافذة البيضاوية ،أو زيادة سماكة غشاء الطبل ،أو تكلس عظيمات السمع أو انسداد مجرى السمع الخارجي بالصملاخ.

B- الصمم العصبيNerve Deafness: وينجم عن إصابة عضو كورتي (القوقعة) أو إصابة العصب السمعي أو إصابة الفص الصدغي



الشكل رقم (112) المسلك العصبي لحس السمعي

خامساً: حس التوازن Equilibrium Sense

تسعى جميع الحيوانات للاحتفاظ بوضعيتها الطبيعية وتصحيح الوضعية إذا ما طرأ عليها أي تغير. ويساهم في هذه العملية المعقدة بشكل أساسي القسم الدهليزي من الأذن الداخلية حيث تتوضع مستقبلات التوازن في الأذن الداخلية، ويتوضع مركز التوزان في المخيخ.

1- **مستقبلات التوازن الساكن Stato Receptors:**

تتوضع مستقبلات التوازن الساكن في التيه الغشائي وعلى وجه التحديد في القريبة Utricle والكييس Saccule. وتدعى مستقبلات التوازن الساكن بالبقعة Macula التي تزود الإنسان بمعلومات عن موضع الرأس والجسم بالنسبة لقوى الجاذبية.

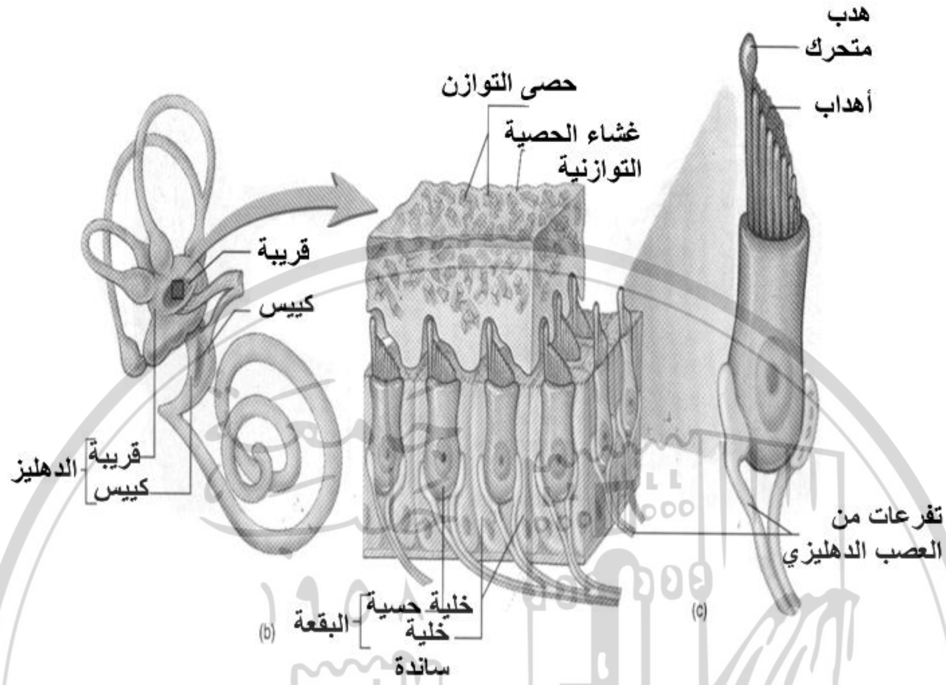
تتألف البقعة الحسية من خلايا ساندة Support Cells وخلايا حسية مهدبة Hair Cells . يعلو كل خلية مهدبة حوالي (100) هدب من الأهداب الساكنة غير المتحركة

ذات أطوال متدرجة ونتوء وحيد شعري يدعى الهدب المتحرك. يغطي مجموع البقعة الحسية بنية ناعمة غير خلوية تدعى غشاء الحصية التوازنية، التي ينتشر على سطحها عدد كبير من البلورات الموشورية السداسية ذات الطبيعة الكلسية والتي تدعى بالمخاريط الاذينية Otoliths. أما قواعد الخلايا الحسية فتعصب بفروع من العصب السمعي (الفرع الدهليزي)، (الشكل رقم 113). تمارس المخاريط الاذينية في أثناء الوضع الطبيعي للرأس وزناً موزعاً على أهداب الخلايا الحسية مما يؤدي إلى تشكيل دفعات عصبية ذات تردد معين، ولدى إمالة الرأس يختلف توزع وزن المخاريط على أهداب الخلايا الحسية مما يؤدي إلى ثني الأهداب، الأمر الذي يؤدي إلى تفعيلها وحدوث تحويل للطاقة الميكانيكية الناتجة عن ضغط الحصى التوازنية إلى طاقة كهربائية متمثلة بكمونات الاستقبال وكمونات الفعل المنتشرة عبر ألياف العصب الدهليزي إلى المخيخ لتعلمه بالوضع الفراغي للجسم. وبناءً على ذلك يقوم المخيخ بالرد على ذلك من خلال إرسال دفعات عصبية مناسبة إلى العضلات، للتحكم في معدل المقوية العضلية ودفع الإنسان لإجراء منعكسات تعويضية Compensatory Reflexes. وتتمثل المنعكسات التعويضية بردود فعل حركية جديدة تتوافق مع درجة انحراف الراس أو الجسم تهدف إلى تحقيق التوازن مع الوضع الفراغي الجديد، بدليل تغير وضعية الجسم بما يتناسب مع طبيعة الصعود إلى المرتفعات أو الهبوط منها.

ويبرز دور مستقبلات التوازن الساكن عند النهوض من حالة الاستلقاء إلى حالة الوقوف، ففي حالة الاستلقاء يكون توزع المخاريط على سطح غشاء الحصية التوازنية غير منتظم وتتجمع في جهة الاستلقاء، الأمر الذي ينبه تلك المنطقة أكثر من المناطق الأخرى من غشاء الحصية وبالتالي نشوء دفعات عصبية ينقلها العصب الدهليزي إلى المخيخ، مما يؤدي إلى تقلص العضلات في جهة الاستلقاء، في حين تبقى العضلات في الجهة المقابلة بحالة استرخاء. ولكن عند النهوض من وضعية الاستلقاء إلى وضعية الوقوف يلاحظ منعكس تصحيح مزدوج:

الأول ذو منشأ تيهي يكون مسؤول عن تصحيح الرأس أي له علاقة بمستقبلات التوازن الساكن في الأذن الداخلية.

والثاني ذو منشأ رقبي يكون مسؤول عن استقامة الجسم أي له علاقة بمستقبلات الحس الذاتي في الرقبة.



الشكل رقم (113): بنية البقعة الحسية عند الإنسان

فلدى إمالة الرأس يختلف توزع وزن المخاريط على أهداب الطبقة الحسية، (الشكل رقم 114) فيتغير تردد الدفعات العصبية في ألياف العصب الدهليزي الواردة إلى المخيخ والتي تشرف على مقويات العضلات في الرأس، الأمر الذي يسبب بإعادة استقامة الرأس نتيجة تقلص عضلات الرقبة. إعادة وضعية الرأس إلى وضعها الطبيعي يسبب في تنبيه مستقبلات الحس الذاتي(المغزل العضلي) الموجودة في عضلات الرقبة، الأمر الذي يسبب في تقلص عضلات الصدر والأطراف والنهوض واقفاً.

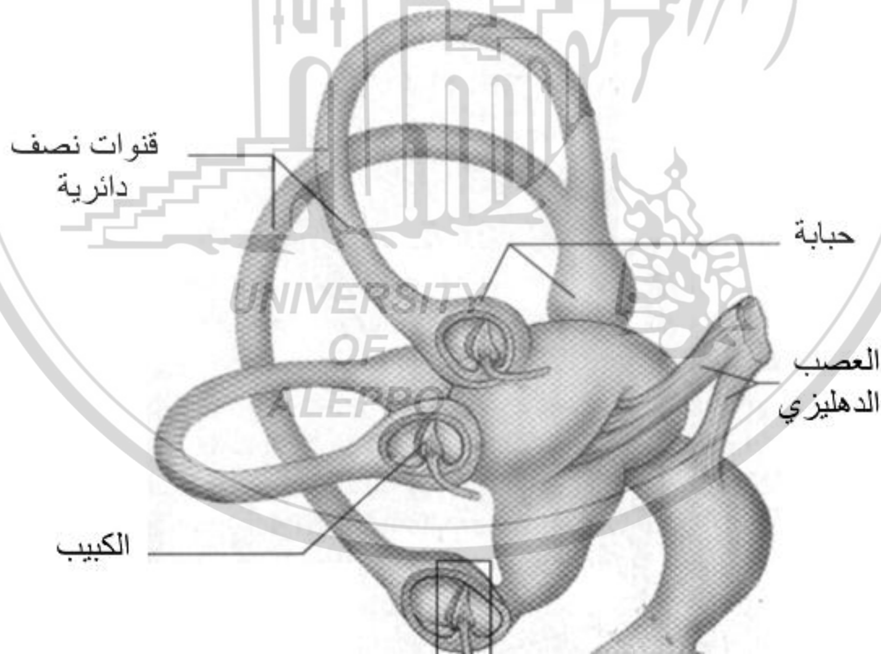


الشكل رقم (114): اختلاف توزع المخاريط عن امالة الرأس

2 – مستقبلات التوازن المتحرك Rotate Receptors :

تتوضع مستقبلات التوازن المتحرك في التيه الغشائي من الأذن الداخلية وعلى وجه التحديد في القنوات نصف الدائرية Semicircular canals ، حيث يوجد في كل أذن داخلية ثلاث قنوات نصف دائرية متعامدة على بعضها بعضاً مملوءة باللمف الداخلي ،بحيث تكون الأولى أفقية جانبية والثانية شاقوليه أمامية والثالثة شاقوليه خلفية .يتصل طرفا كل قناة بالقريبة بحيث يمكن للمف أن يدور بداخلها بحرية، كما يوجد في إحدى نهايتي كل قناة توسع أو حبابة Ampulla تحتوي على سرج نسيجي يطلق عليه اسم العرف Crestan ،يعلوه مادة هلامية تتغرس فيها أهداب الخلايا الحسية المهدبة تدعى بالكويب Cupule، (الشكل رقم 115) .

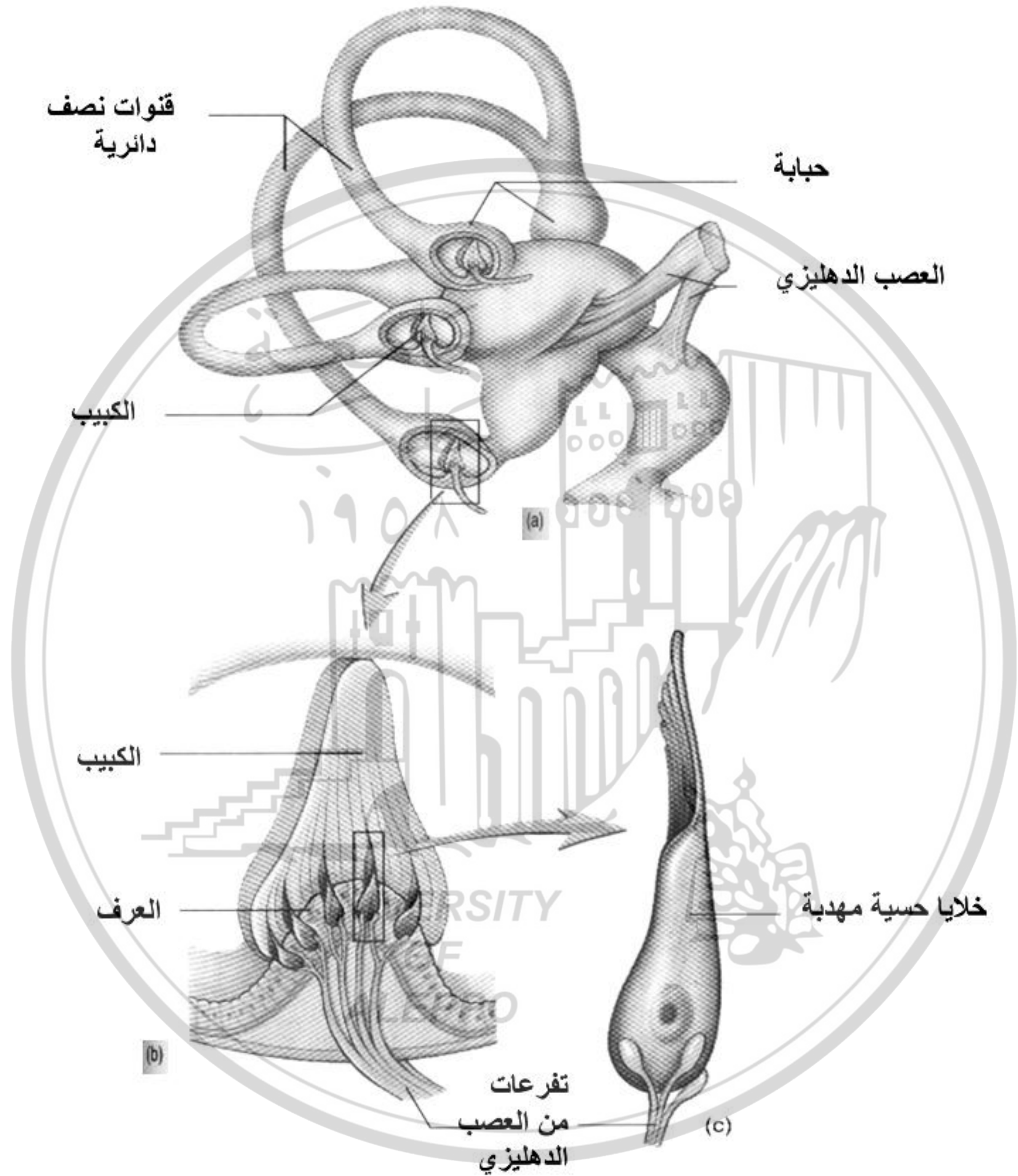
العرف عبارة عن بنية سرجية الشكل تتألف من مجموعة من الخلايا الساندة يتخللها عدد من الخلايا الحسية المهدبة. تزود كل خلية حسية بحزمة من الأهداب مرتبة في صفوف، جميع هذه الأهداب غير متحركة باستثناء إحداها يكون متحركاً.



الشكل رقم (115): التيه الغشائي عند الإنسان

وتتوضع الأهداب الساكنة على جانبي الهدب المتحرك بشكل متدرج بحيث يكون أطولها أقربها إلى الهدب المتحرك ،بينما ينتشر في قواعد الخلايا الحسية المهدبة نهايات

العصب الدهليزي. وهذا ويرتبط الكويب من قاعدته بالعرف، بينما يبقى في جهته المقابلة حراً، الأمر الذي يمكنه من الانثناء بفعل حركة اللمف الداخلي في كلا الاتجاهين، (الشكل رقم 116).



الشكل رقم (116): بنية الحبابة

ولكي نفهم آلية التنبيه هذه، نأخذ مثالاً أحد أشفاع القنوات نصف الدائرية ولتكن القنوات الأفقية الجانبية في الأذنين. عندما يكون الجسم بوضعه الطبيعي الساكن يكون الرأس منتصباً و يكون الكويب في وضعه الشاقولي الطبيعي وعدد كمونات الفعل التلقائية الصادرة عن الأعراف في كلا الجانبين متساوياً. أما عندما يدور الإنسان نحو اليمين

مثلاً، فإن القنوات نصف الدائرية تتجاوب مع حركة الجسم وتدور نحو اليمين، بينما اللمف الداخلي الذي يملؤها لا يتجاوب مباشرة مع الحركة بسبب عطالته، إذ تبدأ حركته ببطء وتتزايد تدريجياً إلى أن تلحق بعد فترة بحركة القنوات نصف الدائرية.

لذلك يتحرك اللمف في أول الأمر وكأنه يسير بالاتجاه المعاكس لدوران الجسم مما يؤدي إلى إمالة الكويب بعكس جهة الدوران ،الأمر الذي يؤدي إلى انثناء الأهداب المتحركة وبثها لكمونات فعل كانت نتائجها منعكسات تعويضية ممثلة بدوران العينين والرأس والجذع بعكس اتجاه الدوران، (الشكل رقم117).

تبدأ حركة مقلة العين مع بدا الحركة الدورانية حركة بطيئة من الأنسي إلى الوحشي وإذا ما وصلت العين في دورانها نحو اليسار عكس جهة الدوران إلى أقصى مدى تسمح به الامكانات التشريحية للعين انتقلت ثانية وبسرعة إلى الناحية الإنسية، وتتكرر هذه العملية بضع مرات وهذا ما نطلق عليه اسم الرأرأة Nystagmus. ويرافق عملية الرأرأة دوران الراس نحو اليسار، وعندما يصل انحراف الرأس إلى أقصى مدى ممكن، عندها يتحرك الجسم بالكامل نحو اليسار.

وبما أن الكويب يبقى على وضعه المائل في أثناء الدوران القصير فترة زمنية لا تتجاوز عشر ثوانٍ فتوقفت الحركة تسبب في ظهور منعكسات تعويضية مماثلة لجهة الدوران نتيجة استمرار دوران اللمف الداخلي في القناة فترة قصيرة رغم توقف القناة ذاتها لنفس السبب العطالي. أما إذا استمر الدوران فترة زمنية طويلة فإن الكويب وبفضل مرونته يعود إلى وضعه الطبيعي تدريجياً في كلتا الحبابتين حتى يأخذ وضعه القائم.

وفي هذه الحالة يتساوى بث كمونات الفعل مجدداً في الأذنين ويختفي الإحساس الشعوري بالدوران خلال (30) ثانية وتتوقف الاستجابات الأخرى الناجمة عن انحراف الكويبات بعد هذا الزمن على الرغم من استمرار حركة الجسم الدورانية. ولكن في حال توقفت الحركة الدورانية فإن الحبابة سوف تتنبه من جديد بسبب استمرار دوران اللمف وإمالة الكويب بالاتجاه المماثل لجهة الدوران، الأمر الذي يؤدي إلى ظهور منعكسات تعويضية معاكسة للسابقة. ولهذا السبب ينتاب الشخص حس دوار شديد قد ينطرح أرضاً إذا حاول الوقوف متوازناً، مما يدل على وجود ارتباط وظيفي بين وضعية الأعراف

ومقويات عضلات الجسم، ووجود علاقة بين أعراف الحبابات المتقابلة على جانبي الرأس، أي عندما يدور الرأس نحو اليمين يزداد التفريغ العصبي في القناة الأفقية اليمنى بينما ينقص التفريغ العصبي في القناة الأفقية اليسرى.

نستنتج مما سبق أن وضعية الجسم الطبيعية ما هي إلا حصيلة مساهمة التيهين، فعندما يتضرر أحد التيهين يسبب انفراد التيه الأخر في العمل حس دوار كاذب(دوخة) كما يسبب حركات اهتزازية إيقاعية في العينين (الرأرأة) وكلاهما في الاتجاه السليم. أما عندما يتضرر التيهين معاً فيسبب اضطرابات في الوضعية وفي المشي إلى جانب حس دوار شديد وتخبط في التوجيه .



الشكل رقم (117): الحركة الدورانية

وانثناء الكويب بعكس جهة دوران القناة بسبب عطالته

3- الرأرأة Nystagmus:

هي حركات اهتزازية إيقاعية في العينين هدفها المحافظة على حقل الرؤية أمام العين ثابتاً في أثناء الدوران، ولكن هناك حداً للمسافة التي يمكن إدارة العين فيها بداخل

الراس لتعقب الشيء المنظور، ومن أجل زيادتها يجب تحريك الراس يعقبه حركة سريعة للعينين بالاتجاه الموافق لحركة الرأس. إضافة إلى ذلك الرأرأة هي فعل منعكس لا تُفعّل بنبضات عصبية بصرية بدليل ملاحظة الرأرأة عند فاقدي حس البصر. وتشمل الرأرأة حركتين:

1- حركة بطيئة للعينين بعكس جهة الدوران: وهي من(الأنسي إلى الوحشي) وسبب هذه الحركة دهليزي، أي تبدا من القنوات نصف الدائرية إلى النوى الدهليزية العلوية والأنسية فالحزمة الطولانية الأنسية المتصلة بنوى الأعصاب المحركة للعين (3-4-6) المسؤولة عن حركة العينين.

2- حركة سريعة للعينين مع اتجاه الدوران: وهي من (الوحشي إلى الأنسي) وسبب هذه الحركة دهليزي هدفها إعادة العين إلى وضعها الطبيعي.

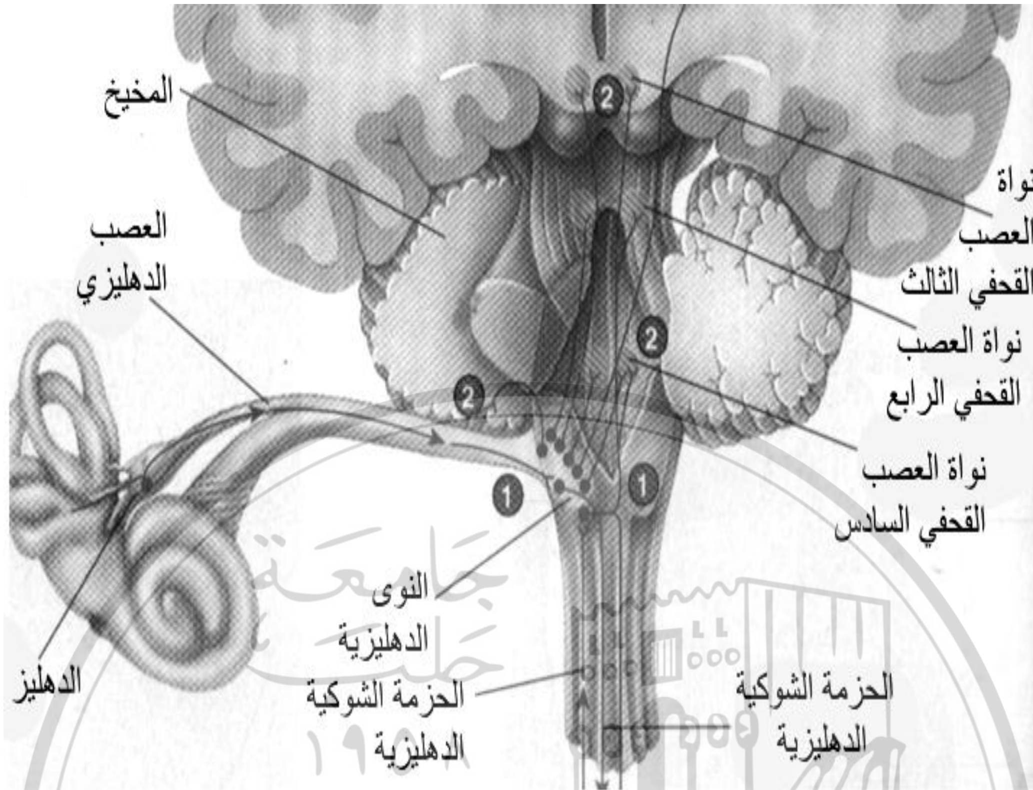
4- المسلك العصبي لحس التوازن:

تتنبه الحبابات أو البقع نتيجة تغير في وضعية الجسم مما يسبب في تشكيل ظاهرة كهربائية تسري عبر ألياف العصب الدهليزي Vestibular Nerve إلى العقدة الدهليزية الموجودة في القسم الدهليزي من الأذن الداخلية. يصدر عن العقدة الدهليزية ألياف تتشابك مع النوى الدهليزية Vestibular Nucleus الموجودة في البصلة السيسائية، (الشكل رقم 118).

أ- النوى الدهليزية العلوية والأنسية: وظيفتها نقل المعلومات القادمة من القنوات نصف الدائرية إلى الحزمة الطولانية الأنسية حيث نوى الأعصاب المحركة للعين وهي العصب المحرك العيني Oculomotorius.N والعصب البَكَري Trochlearis .N والعصب المبعِّد العينيAbducens.N الأمر الذي يؤكد مسؤوليتها عن الرأرأة.

ب- النواة الدهليزية الوحشية: وظيفتها نقل المعلومات من القريبة و الكييس وتحويلها إلى النخاع الشوكي عبر المسلك الدهليزي النخاعي الوحشي Vestibulosphnal Tract الذي يتحكم بوضعية الجسم أثناء التوازن السكوني.

ج- النواة الدهليزية السفلية: وظيفتها نقل المعلومات من القنوات نصف الدائرية والقريبة والكييس وتحويلها إلى المخيخ من أجل المحافظة على وضعية الراس وحركاته.



الشكل رقم (118): المسلك العصبي لحس التوازن




جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل الثامن
فيزيولوجيا العضلات
Muscles Physiology

1- مقدمة:

يتكون الجهاز العضلي عند الإنسان من (600) عضلة تشكل حوالي خمسي وزن الجسم. وتتألف كل عضلة من أعداد كبيرة من الألياف العضلية التي تحتوي على بروتينات قابلة للتقلص. وبفضل تقلص العضلات وانبساطها تقدم القوة الكافية لحركة أعضاء الجسم وتنقله، وكذلك مساهمتها في انتاج الحرارة والتعويض عما يفقده الجسم من حرارة في حال تعرضه للبرد. وتقسم عضلات الجسم في الفقاريات تبعاً لتركيبها إلى ثلاثة أنواع:

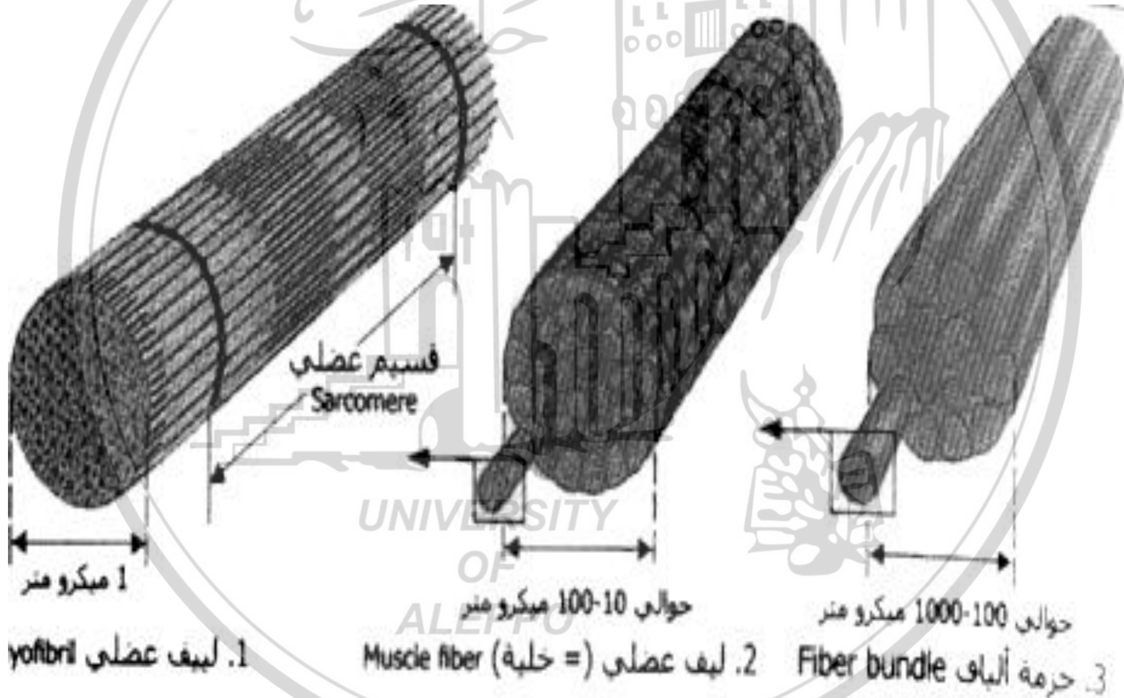
أ-العضلات الهيكلية المخططة Skeletal Muscle: وترتبط بالهيكل العظمي والغضروفي، وتضم كل من عضلات الرأس والجذع والأطراف، وكذلك بعض عضلات الأعضاء الداخلية (اللسان- الحنجرة- المصرات الخارجية البولية والشرجية). وتتصف العضلات المخططة بأنها إرادية وتقع تحت سيطرة الجملة العصبية المركزية، وبسرعة تقلصها وقوتها وبسرعة تعبها. وظيفتها تحقيق الحركة للجسم.

ب-العضلات الملساء Plain Muscles: وترتبط بالأحشاء الداخلية ،وتضم العضلات التي تدخل في تركيب جدران الأحشاء والأوعية الدموية والمثانة والحالب. وتتصف بأنها لاإرادية وتقع تحت سيطرة الجملة العصبية الإعاشية، و بحركتها البطيئة وقدرتها على التقلص لمدة طويلة دون استهلاك كميات كبيرة من الطاقة. وظيفتها دفع المواد ضمن الممرات كدفع الطعام في القناة الهضمية وتنظيم دفع الدم في الأوعية الدموية.

حـ- العضلة القلبية Heart muscle: تجمع بين صفات العضلات الملساء من خلال عملها اللاإرادي والعضلات المخططة الهيكلية من ناحية البنية المخططة. تعمل العضلة القلبية مدى الحياة بإشراف الجملة العصبية الإعاشية، وظيفتها توليد القوة الكافية لحركة الدم في جهاز الدوران.

2- البنية النسيجية -الجزيئية للعضلات المخططة:

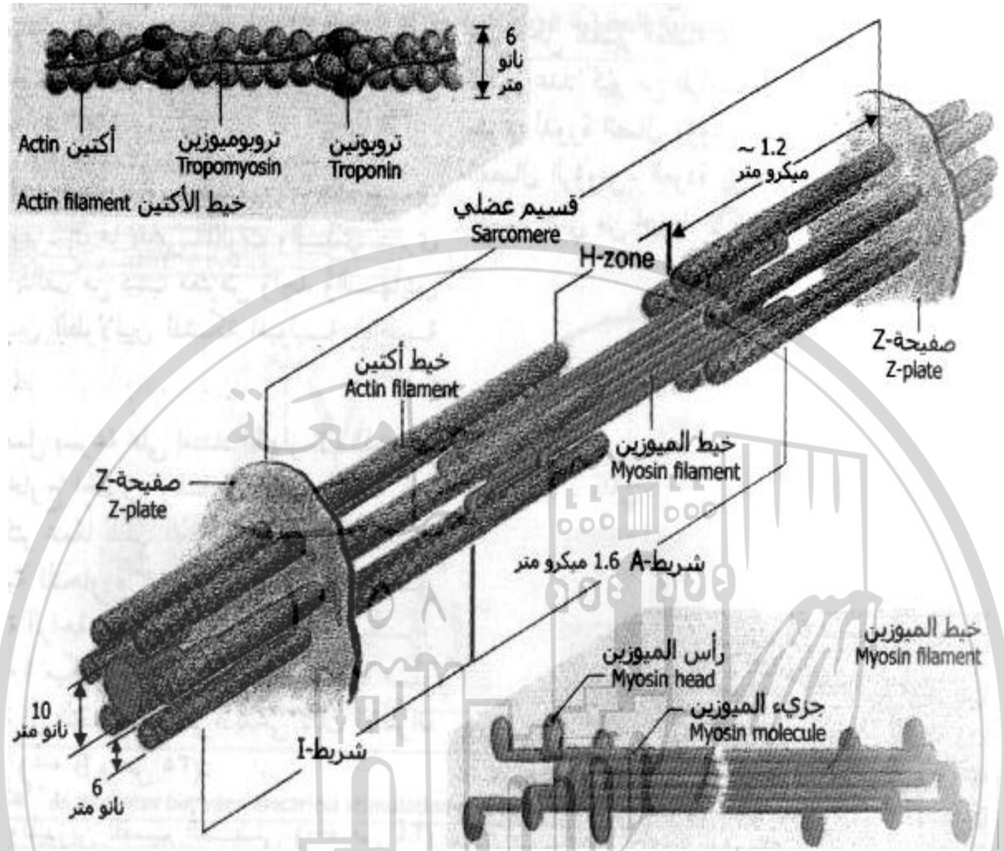
تتألف العضلة الهيكلية Skeletal muscle من حزم من الألياف العضلية التي تحاط بنسيج ضام يدعى صفاق العضلة. يصدر عن صفاق العضلة حواجز رقيقة مكونة غمد الحزمة العضلية الذي تمتد فيه الأوعية الدموية والأعصاب التي تغذي العضلة. يظهر الليف العضلي الواحد بالمجهر الضوئي أسطواني الشكل يختلف قطره بين (10) ميكروميتر و(100) ميكروميتر وطوله بين أجزاء الميليمتر و(30) سم، (الشكل رقم 119). يحاط الليف العضلي بصفيحة لحمية Sarcolemma تفصله عن الألياف الأخرى. تتألف الصفيحة اللحمية من غشاء خلوي لليف العضلي ومعطف خلوي خارجي مؤلف من طبقة رقيقة من البروتينات السكرية وألياف مولدة للغراء.



الشكل رقم (119): البنية الدقيقة للعضلة المخططة

يحتوي الليف العضلي على سيتوبلاسما تحتوي على شبكة بلاسمية داخلية وجهاز كولجي، وجسيمات حالة وأعداد كبيرة من الجسيمات الكوندرية التي تتوضع بين اللييفات بشكل موازٍ، مما يشير إلى حاجة اللييفات الشديدة إلى ATP المصنوع داخل الجسيمات الكوندرية.

كما تتميز السيتوبلاسما باحتوائها على نوى محيطية التوضع، لذا يعد الليف العضلي مدمجاً خلوياً حقيقياًSyncytium .



الشكل رقم (120): بنية القسيم العضلي

يتميز الليف العضلي أيضاً باحتوائه على أعداد كبيرة من الليفات العضلية Myofibrils التي يصطف بعضها إلى جانب بعضها الآخر على طول الليف، يفصل بعضها عن بعضها الأخر سيتوبلاسما تدعى البلاسما العضلية.

ويعود التخطيط المميز للخلايا العضلية المخططة إلى الترتيب الدقيق لليبفات العضلية، إذ يلاحظ فيها تناوب عرضي منتظم لأقراص عاتمة (A) وأقراص نيرة (I). تتوضع الأقراص العاتمة والأقراص النيرة لجميع ليبفات الليف في مستوى واحد، (الشكل رقم 120).

ينقسم كل قرص نير إلى قسمين متساويين بواسطة عصابة دقيقة تدعى خط Z. ويوجد في وسط القرص العاتم عصابة أقل عتمة هي العصابة H، التي تضم في وسطها خطاً عاتماً هو الخط M. يطلق على جزء الليبف الممتد بين خطي Z متتالين اسم القسيم

العضلي Sarcomere التي يبلغ طولها عندما تكون العضلة في وضع الراحة بحدود (2) ميكروميتر.

يتألف القرص النير(I) من خيوط بروتينية رفيعة تدعى بالأكتين Actin، بينما تحتوي العصابة H من القرص العاتم على خيوط بروتينية ثخينة تدعى بالميوزين Myosin. يعد الخط Z مربطاً تستند إليه الخيوط الرفيعة والتي تمتد باتجاهين متعاكسين لتغطي القرص النير وجزءاً من القرصين العاتمين الموجودين على جانبي القرص النير. ويمثل الخط M مربطاً تستند إليه الخيوط الثخينة. ويظهر في مناطق تداخل الخيوط الرفيعة بالخيوط الثخينة نتوءات تصدر على الخيوط الثخينة والتي تعد بمثابة جسور اتصال مع الخيوط الرفيعة في أثناء التقلص العضلي.

ويرافق الليفات العضلية شبكة من القنيات والأنيبيبات تمتد طولياً وعرضياً . تعود القنيات الطولية إلى الشبكة البلاسمية الداخلية التي تمتد بين القسيمات العضلية المتتالية وتنتهي بحويصلات انتهائية حاوية على شوارد الكالسيوم بجانب الأنيبيات العرضية (جملة T)، بينما تنشأ الانيبيبات العرضية من انخماصات غشاء الليف في مستوى الخطوط Z لتلامس القنيات الطولية. يعد تداخل الأنيبيات الطولية والعرضية ذات أهمية بالغة في إيصال كمونات الفعل والتي تنقل على طول غشاء الليف العضلي إلى عمق الليف مسببة العديد من الظواهر الكيميائية الميكانيكية.

3- التركيب الكيميائي للعضلات المخططة:

تتألف سيتوبلاسما الليف العضلي من المواد التالية:

أ- ماء ويشكل نسبة 80%.

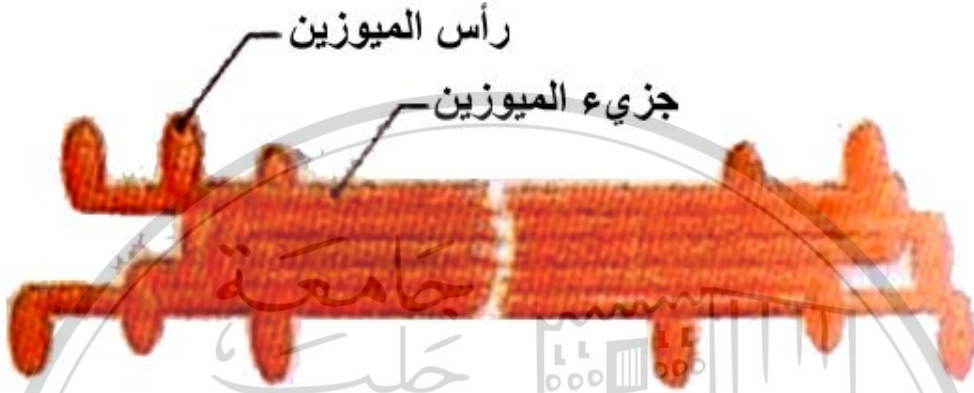
ب- شوارد معدنية مثل، البوتاسيوم - والكالسيوم - والمغنيزيوم والفوسفات.

ج- بروتينات عضلية، وتضم:

1- الميوغلوبين Myoglobin: هو صباغ يشبه خضاب الدم، يقوم بادخار الأكسجين وتحريره بسرعة عند انقطاع موارد الدم عن العضلات في أثناء تقلصها.

2- الميوزين Myosine: عبارة عن بروتين يتألف من 6 سلاسل عديدة الببتيد (سلسلتان ثقيلتان وأربع سلاسل خفيفة)، تلتف السلسلتان الثقيلتان حول بعضهما بشكل حلزون

مضاعف، وفي إحدى نهايتي الحلزون تنطوي نهايتا كل سلسلة لتشكل بروتيناً كروياً يدعى الرأس الميوزيني. تشكل السلاسل الخفيفة أجزاء من الرؤوس الميوزينية، بحيث تكون سلسلتان لكل رأس وبذلك تتحكم بوظيفة الرأس في أثناء التقلص، (الشكل رقم121).



الشكل رقم (121): بنية الخيط الثخين

تعد الرؤوس الميوزينية المراكز التي يحصل عندها ربط الخيط الميوزيني مع جزيئات الأكتين الكروي. ويتميز الرأس الميوزيني بفعالية مشابهة لفعالية ATP ase الذي يعمل على حلمهة ATP الموجودة على الموقع الأكتيني للحصول على الطاقة الضرورية للتقلص.

3- الاكتين Actine : ويتألف الهيكل الرئيسي لجزيء الأكتين من الأكتين الليفي الممثل بسلسلتين مجدولتين بشكل حلزوني، تتألف كل منهما من جزيئات البروتين الكروي من نمط G. ويرتبط كل جزيء أكتين كروي بجزيء ATP، (الشكل رقم 122).



الشكل رقم (122): بنية الخيط الثخين

4- التروبوميوزين Tropomyosine: عبارة عن بروتين بشكل سلسة ملتفة يتوضع ضمن حلزون مغطياً المواقع الفعالة للأكتين في أثناء الراحة.

5- التروبونينTroponine: عبارة عن بروتين يكون على شكل كرات و يتألف من ثلاث سلاسل ببتيدية مرتبطة مع بعضها البعض بشكل رخو:

أ- تروبونين A ذو الفة مع خيط الأكتين.

ب- تروبونين T ذو الفة مع التروبوميوزين.

ج- تروبونين C ذو الفة مع شوارد الكالسيوم.

يلعب كل من هذه البروتينات دوراً خاصاً بالتحكم بالتقلص العضلي، إذ يقود ارتباط تروبونين C مع الكالسيوم إلى تغير شكلي تبتعد على أثره خيوط التروبوميوزين عن المواقع الفعالة للأكتين فتنزلق خيوط الاكتين على خيوط الميوزين ويحدث التقلص العضلي.

4- التقلص العضلي:

ينتج عن تقلص العضلة تقاصرها، أو زيادة في توترها دون أن يحدث تبدل في طولها. وقد وجد أن الارتباط الاكتيني الميوزيني الضروري لتقلص العضلة يحتاج إلى توفر ثلاثة عناصر رئيسية:

أ-جزيئات الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP.

ب-شوارد الكالسيوم Ca^{++}.

ج-شوارد المغنيزيوم Mg^{++}.

حيث يتمثل دور جزيئات ATP في فك الارتباط الاكتيني الميوزيني في أثناء تقلص وتمدد العضلة وتأمين مرونة الألياف العضلية نتيجة الانزلاق والتداخل النسبي للخيوط الرفيعة والثخينة وتقديمها الطاقة اللازمة للتقلص إثر التفاعل الاكتيني الميوزيني، في حين تعد شوارد المغنيزيوم ضرورية لفصم الروابط الميوزينية الأكتينية وتفعيل ATPase المثبطة بالمعقد تروبونين – تروبوميوزين. أما عملية تفعيل الارتباط الاكتيني الميوزيني فيحدد بكمية شوارد الكالسيوم التي يزداد تدفقها من حويصلات وقنيات الشبكة البلاسمية الداخلية إلى البلاسما العضلية في أثناء التقلص، بدليل زيادة تركيزها في البلاسما العضلية في أثناء تقلص العضلة وتناقصه في أثناء تمددها، لأن شوارد

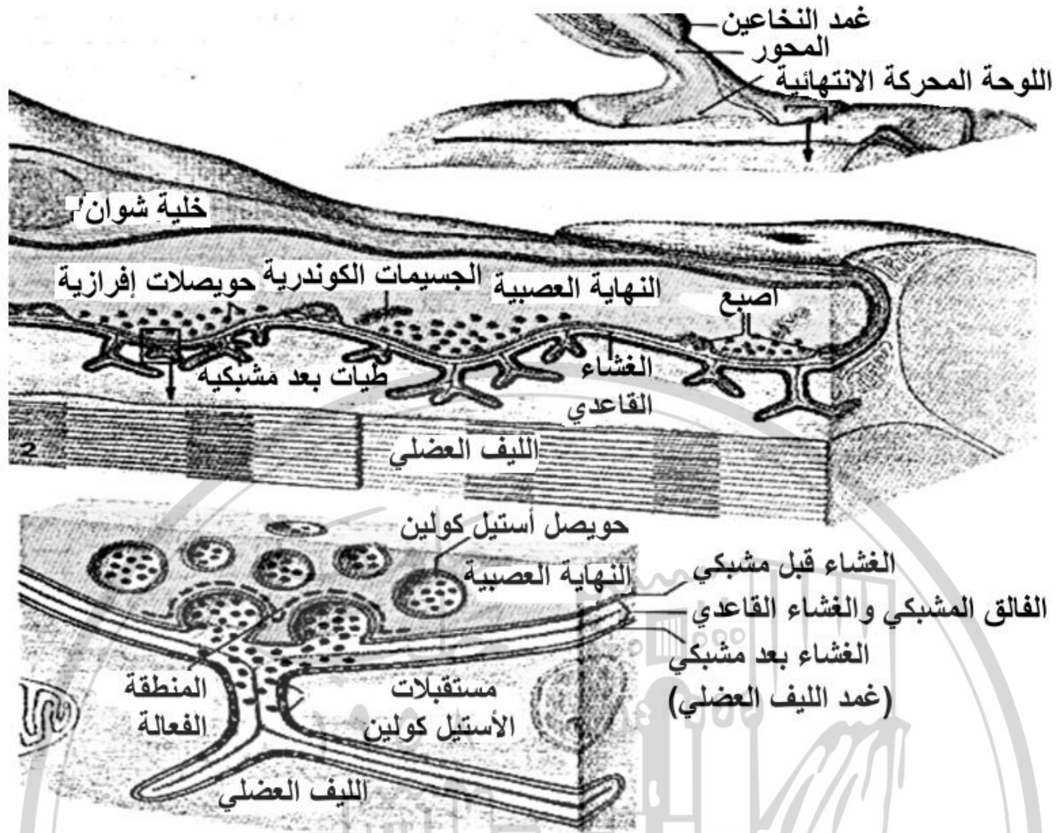
الكالسيوم تعود بسرعة إلى حويصلات الشبكة البلاسمية العضلية بفضل مضخة الكالسيوم.

5- الموصل العصبي العضلي أو اللوحة الانتهائية المحركة Motor end plate:

تشرف الجملة العصبية المركزية على فعالية العضلات وذلك عن طريق الدفعات العصبية التي ترسلها إلى العضلات عبر العصبونات المحركة Motoneurons . تتألف كل عضلة من العديد من الألياف العضلية التي تجتمع في وحدات حركية Motor Unit، تضم كل وحدة حركية عدداً من الألياف العضلية التي تتلقى الدفعات العصبية من عصبون محرك واحد. ويختلف عدد ألياف الوحدة الحركية من عضلة إلى أخرى، فقد يصل إلى (1000) ليف في العضلة العضدية ذات الرأسين Dicephalous Muscle، في حين لا يتجاوز خمسة ألياف في العضلات المحركة لكرة العين عند الإنسان. ويرتبط عدد الألياف العضلية المكونة للوحدة الحركية بمدى دقة التنظيم في العضلات، فالعضلات التي تحتاج إلى تنظيم دقيق يكون عدد ألياف الوحدة الحركية فيها قليلاً، بينما التي لا تحتاج إلى تنظيم دقيق يكون عدد ألياف الوحدة الحركية فيها كبيراً.

تشكل التفرعات الانتهائية لمحور العصبون المحرك مع الألياف العضلية المخططة ارتباطات دقيقة ومتمايزة، ويدعى هذا الترتيب باللوحة المحركة الانتهائية. تتألف اللوحة المحركة الانتهائية من نهايات عصبية منتفخة ومندسة ضمن الليف العضلي دون أن تخترق غشاءه . وتتميز النهايات العصبية بغناها بالجسيمات الكوندرية والحويصلات المشبكية المليئة بجزيئات الناقل العصبي (الاستيل كولين). ويشكل الليف العضلي في منطقة اللوحة المحركة الانتهائية عدداً من الطيات التي تحمل مستقبلات نوعية خاصة بالأستيل كولين. يفصل النهايات العصبية عن الغشاء العضلي فجوة تشابه الفالق المشبكي، (الشكل رقم 123).

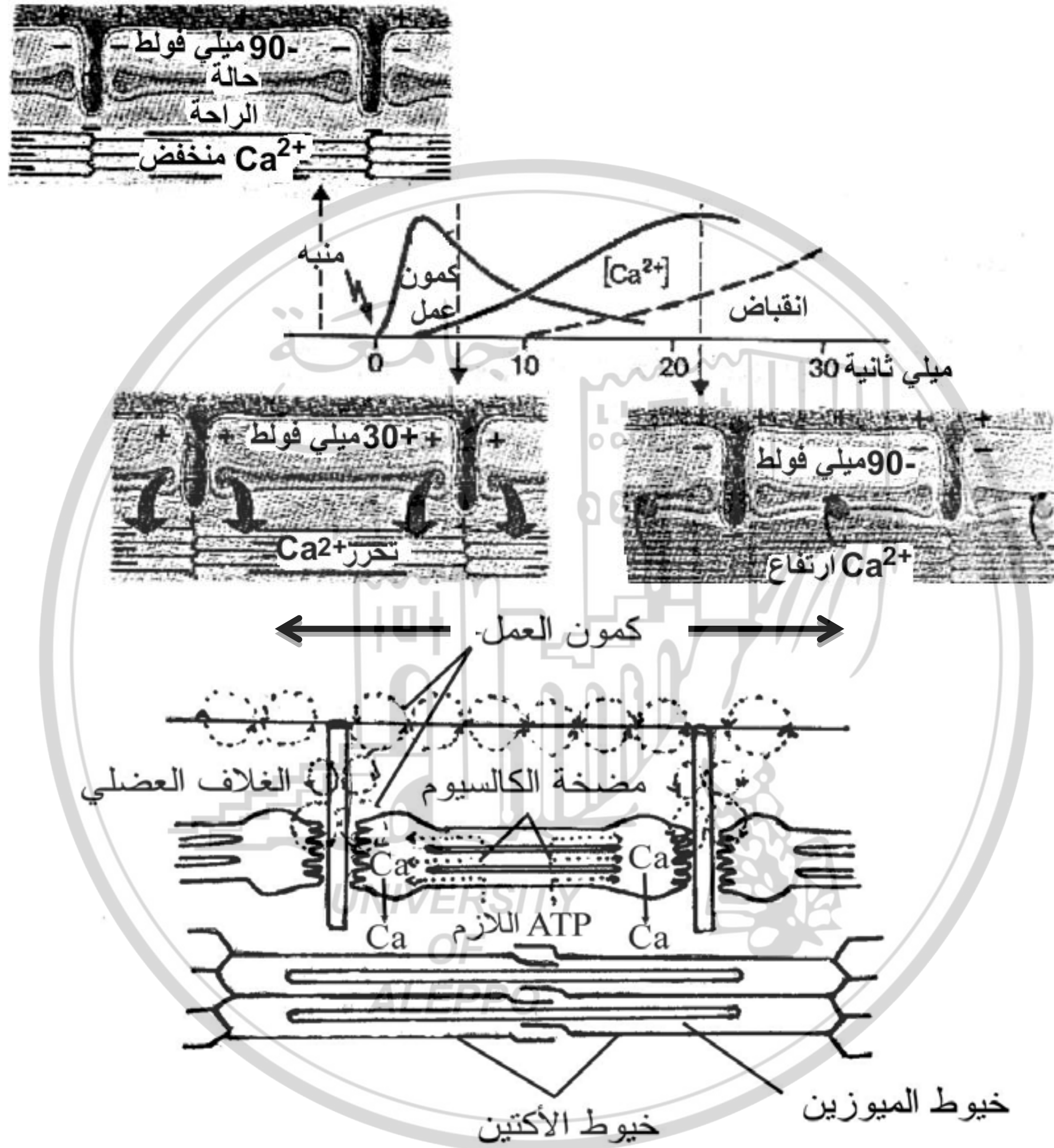
تحرض الدفعة العصبية الواصلة عبر الليف العصبي إلى النهايات العصبية للوحة المحركة فتح قنوات الكالسيوم وتحريك الحويصلات المشبكية باتجاه غشاء النهايات العصبية وتحرير الأستيل كولين في الفالق المشبكي للوحة المحركة.



الشكل رقم (123): الموصل العصبي العضلي

تجتاز جزيئات الاستيل كولين الفالق المشبكي وترتبط مع مستقبلات نيكوتينية موجودة على الغشاء العضلي. يثير هذا الارتباط تبدلات فيزيائية – كيميائية في بنية الغشاء الخلوي تسمح بدخول شوارد الصوديوم إلى داخل الليف العضلي وتشكيل كمونات موضعية تعمل على نزع استقطاب تدريجي نتيجة العمل التجميعي لهذه الكمونات وتغير الكمون الغشائي من (– 90) ملي فولت إلى (– 60) ملي فولت مستوى العتبة التي تفتح عندها قنوات الصوديوم التفعيلية ،الأمر الذي يسبب في دخول كثيف للصوديوم وخروج شوارد البوتاسيوم وتشكيل كمونات عمل تنتشر على طول الليف العضلي وبالاتجاهين بوساطة الأنيبيات الطولية، والانتقال إلى أعماق الليف العضلي بوساطة الأنيبيات العرضية (جملة T). عبور كمونات العمل لجملة T ينشط خروج شوارد الكالسيوم من حويصلات الشبكة البلاسمية الداخلية إلى البلاسما العضلية المنتشرة حول اللييفات العضلية لترتبط مع التربونين C مما يؤدي إلى إزالة تأثير معقد الاسترخاء وانكشاف المواقع الفعالة على الأكتين وانطلاق عملية التقلص نتيجة تنشيط ATPase الموجود على

الرأس الميوزيني وحلمهة جزيئات ATP الموجودة على المواقع الأكتينية ناشرة طاقة تعطي هذه الرؤوس القدرة على الحركة ساحبة معها الخيوط الرفيعة باتجاه داخل القسيم العضلي مسافة (5-10) نانومتر، (الشكل رقم 124).



الشكل رقم (124): حالة التنبه والتقلص في العضلة المخططة

وهكذا يستمر التقلص طالما شوارد الكالسيوم موجودة في البلاسما العضلية. في نهاية طور التقلص تعمل مضخات الكالسيوم على إعادة شوارد الكالسيوم إلى حويصلات الشبكة البلاسمية الداخلية فينخفض تركيزها ويعود معقد الاسترخاء ويزول التقلص.

6- التغيرات التي تحدث في العضلة عند تنبيهها:

أ-التغيرات الكيميائية:

تستخدم جميع عضلات الجسم الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP كمصدر مباشر للطاقة الضرورية لفعالياتها الاستقلابية والميكانيكية. إذ ينتج عن حلمهة الـ ATP طاقة يستخدم جزء منها لدوران الرؤوس الميوزينية التي تؤمن سحب الخيوط الرفيعة باتجاه القسيمات العضلية، ويستخدم الجزء الأخر من الطاقة في عمل المضخات اللازمة من أجل إعادة توزيع شوارد الصوديوم والبوتاسيوم على جانبي الغشاء الخلوي، ولإعادة ضخ شوارد الكالسيوم إلى حويصلات الشبكة البلاسمية الداخلية.

وفيما يتعلق بأوليات الاستقلاب الطاقي في أثناء التقلص العضلي فإن العضلة تستنفذ الطاقة المختزنة في جزيئات الـ ATP خلال عدة تقلصات عضلية مما يستدعي وجود آليات تعويض تساهم في تجديد الأدينوزين ثلاثي الفوسفات:

1- من إعادة فسفرة الأدينوزين ثنائي الفوسفات ADP وتشكيل الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP، ويوجد في العضلات عدة طرق استقلابية تسمح بإعادة تركيب ATP من ADP:

أ-من جزيئات ADP و بوساطة أنزيم ميوكيناز.



$$2ADP \rightarrow ATP + AMP$$

ب- الفوسفوكرياتين: هو مركب غني بالطاقة ويوجد بكثرة في العضلات البيضاء. يتم نقل الفوسفات الغنية بالطاقة إلى جزيئات ATP عن طريق تفاعلها مع جزيئات ADP وبوجود أنزيم الفوسفوكيناز Phospho- Kinase .



$$CP \rightarrow C + P$$



$$ADP + p \rightarrow ATP$$

هذه المصادر سريعة المنتج للـ ATP إلا أنها سريع النفاذ، وهذا ما يفسر عدم قدرة الحيوانات التي تعتمد على العضلات البيضاء في انجاز عمل عضلي لفترات طويلة من الزمن دون توقف.

2- التحلل السكري للغليكوجين المخزن مسبقاً في الألياف العضلية، والذي يتحول بسرعة عند الحاجة إلى غلوكوز – 6- فوسفات، والذي يعطي بدوره في المرحلة الأولى من

عمليات التحلل السكري حمض البيروفيك Pyruvic acid. ويرافق هذا التحول انتشار طاقة تستخدم لفسفرة ADP وإنتاج ATP.



P + حمض البيروفيك ← غليكوجين

ويمكن لحمض البيروفيك أن يسلك عدة طرق استقلابية، ويتعلق الأمر بقوة التقلص العضلي وبوفرة الأكسجين. ففي حال توافر الأكسجين يتأكسد حمض البيروفيك أكسدة هوائية ضمن الجسيمات الكوندرية متحولاً إلى ماء وثاني أوكسيد الكربون عبر سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية ونقل الالكترونات المعروفة بتفاعلات الأكسدة التنفسية، والتي يرافقها طاقة يستخدم جزء منها في فسفرة جزيئات ADP وانتاج ATP. وفي حال عدم توافر الأكسجين فإن العضلة تستمد طاقتها من الأكسدة اللاهوائية لحمض البيروفيك الذي يتحول إلى حمض اللبن، ويرافق هذا التحول طاقة تستخدم في فسفرة جزيئات ADP وانتاج ATP، أو أنه يستخدم لإعادة شحن الكرياتينين لتركيب الفوسفوكرياتين



P + حمض اللبن ← حمض البيروفيك

إن عمليات التحلل السكري والاكسدة الهوائية لحمض البيروفيك في العضلات الحمراء تسمح بالإنتاج المستمر لجزيئات الـ ATP وهذا ما يفسر قدرة العضلات الحمراء على العمل ببطء لفترة طولية من الزمن بدون توقف، ولكن يعد هذا المصدر سريع النفاذ فيما لو استخدم بمفرده لتزويد العضلة بالطاقة الضرورية لعملها إذ سرعان ما تصاب بالتعب.

3- المصدر الأخير للطاقة التي تستخدم في شحن الـADP وانتاج ATP يعود إلى الاستقلاب الهدمي للعناصر الغذائية داخل الخلايا وذلك بأكسدتها بوجود الأكسجين. هذا المصدر هو الأكثر ديمومة لإمداد العضلة بالطاقة اللازمة لعملها.

وعند خلود العضلة إلى الراحة وتوافر كميات كافية من الأكسجين تعود العضلة إلى بناء مخزونها من جزيئات الـ ATP وذلك بنقل حمض اللبن إلى الكبد ليتحول ضمن خلاياه إلى غليكوجين عبر سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية.

ب–التغيرات الميكانيكية:

عند تنبيه العضلة بمنبه كاف تستجيب العضلة إما بالتقلص أو بزيادة تواترها، ويدعى التقلص الذي لا تنجز فيه العضلة عملاً ميكانيكياً ظاهرياً، وإنما تزداد قوة تواترها بالتقلص متساوي الطول Isometric Contraction، ولا يرافق هذ النمط من التقلص تبدل في طول العضلة في أثناء إثارتها، وهذا ما يحصل عندما تحمل العضلة ثقلاً كبيراً لا تقوى على سحبه. نجد هذا النمط من التقلص في العضلات الممتدة بين نقاط ثابتة لمواضع ارتكازها على القطع الهيكلية للجسم (عضلات الظهر مثلاً) والتي تسعى للحفاظ على وضعية الجسم مقابل قوى الجاذبية الأرضية والحفاظ على توازن الجسم لحظة بلحظة أثناء السكون والحركة.

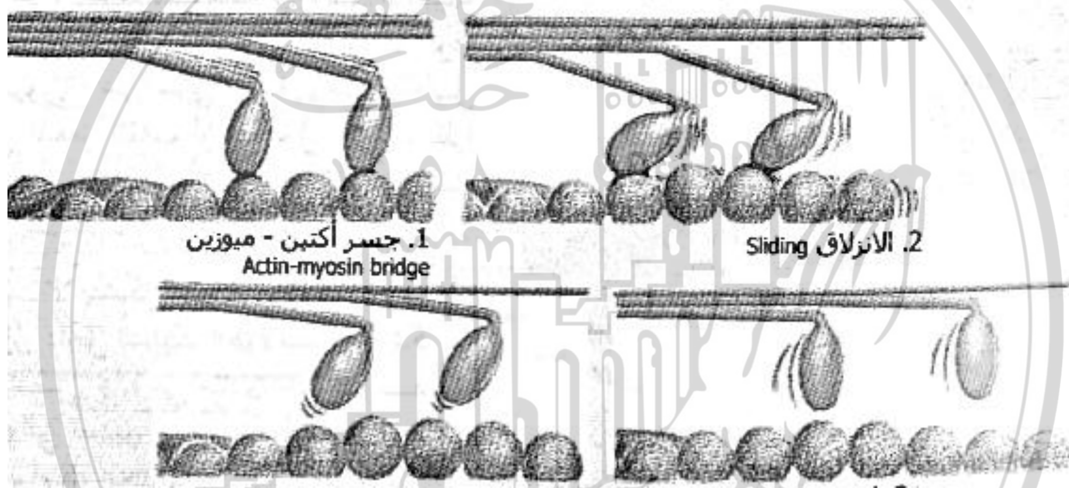
ولكن في حال كان أحد طرفي العضلة مثبتاً والطرف الآخر وتر يتحرك في اتجاه خط سحب ألياف العضلة نحو الأصل، فالتقلص الذي يسبب قصراً في طول هذه العضلة دون أن يحدث تبدل في توترها يدعى تقلص متساوي الشد Isotonic contraction، كما هو الحال في العضلات التي تقوم بتحريك الجسم.

وفيما يتعلق في حالة تقاصر العضلة دون أن يحدث تبدل في توترها لوحظ حدوث تبدلات تصيب الأقراص العاتمة والنيرة لألياف العضلة الهيكلية المخططة، حيث لوحظ ونتيجة انزلاق الخيوط الرفيعة ضمن الخيوط الثخينة في أثناء التقلص العضلي تناقص طول كل من الأقراص النيرة والعصابة H دون التأثير في طول الأقراص العاتمة. وعند تمدد العضلة تنسحب الخيوط الرفيعة خارج الخيوط الثخينة مما يؤدي إلى زيادة طول كل من الأقراص النيرة والعصابة H.

ويتم انزلاق الخيوط الرفيعة ضمن الخيوط الثخينة بفعل الرؤوس الميوزينية التي تشكل جسوراً مؤقته تربط الخيوط الثخينة والرفيعة. وينتج عن التفاعل الاكتيني الميوزيني طاقة تعطي هذه الرؤوس القدرة على الحركة ساحبة معها الخيوط الرفيعة باتجاه مركز القسيم العضلي مسافة (5-10) نانومتر. وحالما ينثي الرأس الميوزيني ينفصل عنه جزيء الفوسفات والـ ADP ويرتبط مكانها جزيء ATP جديد، وبوجود شوارد Mg^{++}. ينفك الارتباط الاكتيني الميوزيني وتعود الروس الميوزينية إلى وضعها العمودي أثناء الراحة،

(الشكل رقم 125)، وإذا ما وجدت الرؤوس الميوزينية المواقع الأكتينية الفعالة حرة وغير مغطاة بالتروبوميوزين ترتبط بها من جديد ولكن في مواقع أخرى من الخيوط الرفيعة تكون أقرب إلى الخط Z من نقاط الارتباط السابقة، وتحصل حلقة جديدة من الارتباط وفك الارتباط.

وهكذا يجري التقلص خطوة خطوة وعن طريق سلسلة من الارتباطات الجسرية الميوزينية الأكتينية وفك الارتباطات تسحب خلالها الخيوط الرفيعة لكل قسيم عضلي خطي Z باتجاه الخيوط الثخينة حتى يصبح الحمل على العضلة كبيراً لا يحدث معه المزيد من السحب.



الشكل رقم (125): يوضح ارتباط وفصم الخيوط الثخينة مع الخيوط الرفيعة

ج-**التغيرات الحرارية:**

إن كمية الطاقة الناتجة عن عمليات التحلل السكري وتفاعلات الأكسدة التي يمكن أن تدخر في الروابط الفوسفورية لجزيئات ATP لا تتجاوز 20% من الطاقة الكلية الناتجة عن التحلل السكري والأكسدة الهوائية في عضلات الحيوانات ثابتة الحرارة، لأن القسم الأكبر من هذه الطاقة يضيع على شكل حرارة تساهم في عمليات تنظيم حرارة الجسم. إضافة إلى توليد العضلات المخططة للحرارة في أثناء الراحة الكاملة نتيجة العمل الاستقلابي الداخلي فإنها المسؤولة عن توليد الحرارة في أثناء العمل وفق ثلاث مراحل:

1- مرحلة الحرارة الأولية اللاهوائية: تظهر خلال مرحلة التقلص وهي لا تعتمد على وجود الأكسجين وترافق تفكك مركبات ATP والفوسفوكرياتين.

2- مرحلة الحرارة المتأخرة اللاهوائية: تظهر خلال مرحلة الاسترخاء وهي لا تعتمد على وجود الأكسجين وترافق عملية تفكك حمض البيروفيك.

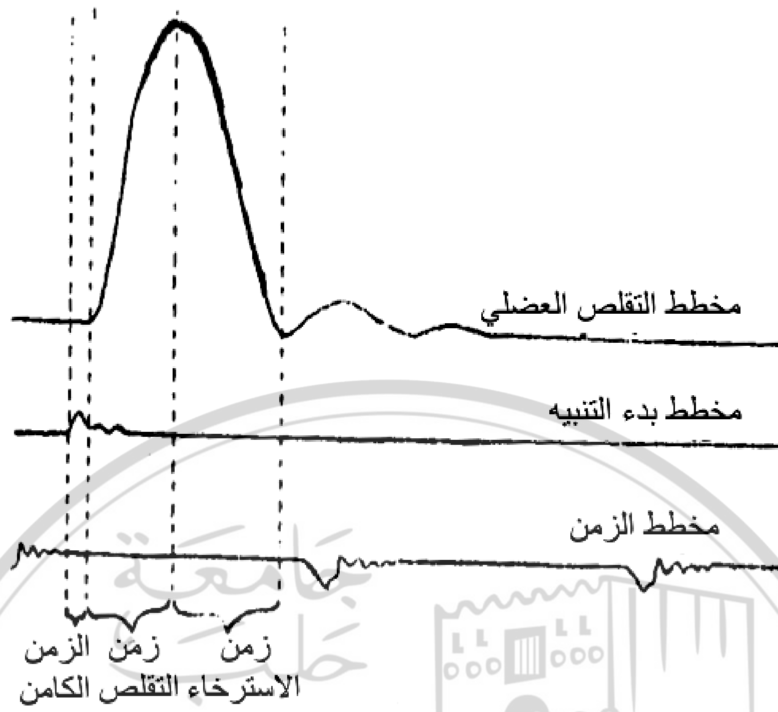
3- مرحلة الحرارة المتأخرة الهوائية: تظهر بعد استرخاء العضلة وهي تعتمد على وجود الأكسجين وترافق عملية تفكك حمض اللبن.

6-النفضة العضلية:

تستجيب العضلة للتحريض الكهربائي بحدوث النفضة العضلية التي تتألف من طورين وثلاثة أزمان، (الشكل رقم 126). طور التقلص ويحدث بسرعة وطور الاسترخاء ويحدث بشكل أبطأ ويستغرق زمناً أطول من التقلص. يحدث كمون الفعل والنفضة بوقت واحد، حيث تبدأ النفضة بعد زوال الاستقطاب. ويقدر الزمن الفاصل بين بداية كمون الفعل وبداية التقلص العضلي في العضلة الساقية البطنية للضفدع(10) ملي ثانية، ويدعى هذا الزمن بالزمن الكامن Latent Period.

أما زمن التقلص الذي يرافق فترة تداخل خيوط الرفيعة ضمن خيوط الثخينة وتقدر مدته في العضلة البطنية الساقية للضفدع بـ (40) ميلي ثانية، بينما يتوافق زمن الاسترخاء مع فك الخيوط عن بعضها وتراجعها إلى وضعها الطبيعي وتقدر مدته في العضلة البطنية الساقية عند الضفدع بـ (50) ميلي ثانية.

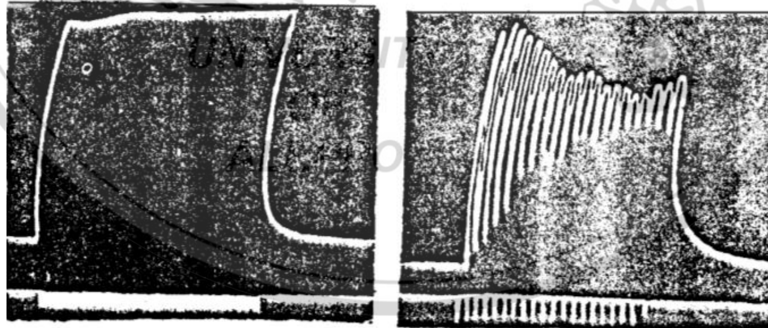
إذا تكرر التحريض بفواصل زمنية أطول من الزمن اللازم لنفضة بسيطة نلاحظ حدوث سلسلة من النفضات العضلية البسيطة ذات ارتفاعات متساوية، ولكن عندما يزداد تواتر التحريض إلى درجة معينة من التواترات لا تمكن العضلة من الاسترخاء وتنطلق تقلصات قبل عودة العضلة إلى طولها الأصلي، تندمج هذه التقلصات في تقلص مشترك واحد يقال له التقلص التكززي Tetanus Contraction. ويحصل التقلص التكززي إثر وصول الدفعات العصبية إلى العضلة بفواصل زمنية أقل من زمن التقلص البسيط، والتقلص التكززي نوعان:



الشكل رقم (126): النفضة العضلية عند الضفدع

1- تكزز ناقص (خشن): ويحدث عندما تأتي تواترات التحريض والعضلة في زمن الاسترخاء (عدد التواترات قليل)، (الشكل رقم 127).

2- تكزز تام (أملس): ويحدث عندما تأتي تواترات التحريض والعضلة في زمن التقلص(عدد التواترات كبير)، (الشكل رقم 127).



تكزز غير تام (خشن)　　　**تكزز تام (أملس)**

الشكل رقم (127): التقلص التكززي في العضلة البطنية الساقية عند الضفدع

علماً أن تردد الدفعات العصبية اللازم لحدوث التكزز يختلف من عضلة إلى أخرى، فالتردد الضروري لإحداث التكزز في العضلة الأخمصية Planter's،Muscle لا

يتجاوز (30) دفعة /ثانية، في حين يحتاج إلى (350) دفعة/ثانية في العضلات المحركة للعين.

8-التعب العضلي:

يؤدي التقلص المديد أو القوي إلى ما يسمى بالتعب العضلي، ومن أهم أسباب حدوث التعب العضلي:

أ-نفاذ مصادر الطاقة اللازمة للتقلص العضلي وخاصة الغليكوجين.

ب-تراكم حمض اللبن الذي يخفض درجة حموضة الوسط الداخلي للخلايا العضلية، مما يؤثر سلباً في فعالية الأنزيمات المؤثرة في مسيرة التقلص العضلي.

ج- نقص الأكسجين الواصل إلى العضلة بسبب استنزافه في أكسدة حمض اللبن، بدليل أنه بعد فترة الجهد العضلي يبقى استهلاك الأكسجين مرتفعاً لبعض الوقت اللازم وذلك بسبب استخدامه في أكسدة وتحويل حمض اللبن إلى غليكوجين.

د- استنفاذ الناقل العصبي بعد التقلص الطويل للعضلة، ففي هذه الحالة تنخفض قوة التقلص العضلي وتصبح التقلصات بحد ذاتها متباطئة، وهنا يطول الزمن الكامن للعضلات وتنخفض القدرة العضلية على الاستجابة للتنبيه.

9- العضلات الملساء Plain muscles:

تتكون العضلة الملساء من خلايا مغزلية، وتحاط بنسيج ضام يسمى غمد العضلة. يصدر عن غمد العضلة وللداخل حواجز رقيقة مكونة غمد الحزمة الذي يحتوي على شعيرات دموية وأعصاب كما تحتوي العضلة الملساء على ألياف مولدة للغراء تكونها الخلايا العضلية.

وعلى المستوى الخلوي تحوي كل خلية عضلية ملساء نواة واحدة مركزية وسيتوبلاسما وخيوط الاكتين وخيوط الميوزين، إلا أن نسبة خيوط الاكتين أكبر بكثير من خيوط الميوزين وأنها لا تترتب مع بعضها بأشكال هندسية كما هو الحال في العضلات الهيكلية المخططة، وبالتالي لا تكون قسيمات عضلية ولا تحتوي أليافها على أنيبيبات T، والشبكة البلاسمية الداخلية غير متطورة وتحتوي على أعداد قليلة من الجسيمات

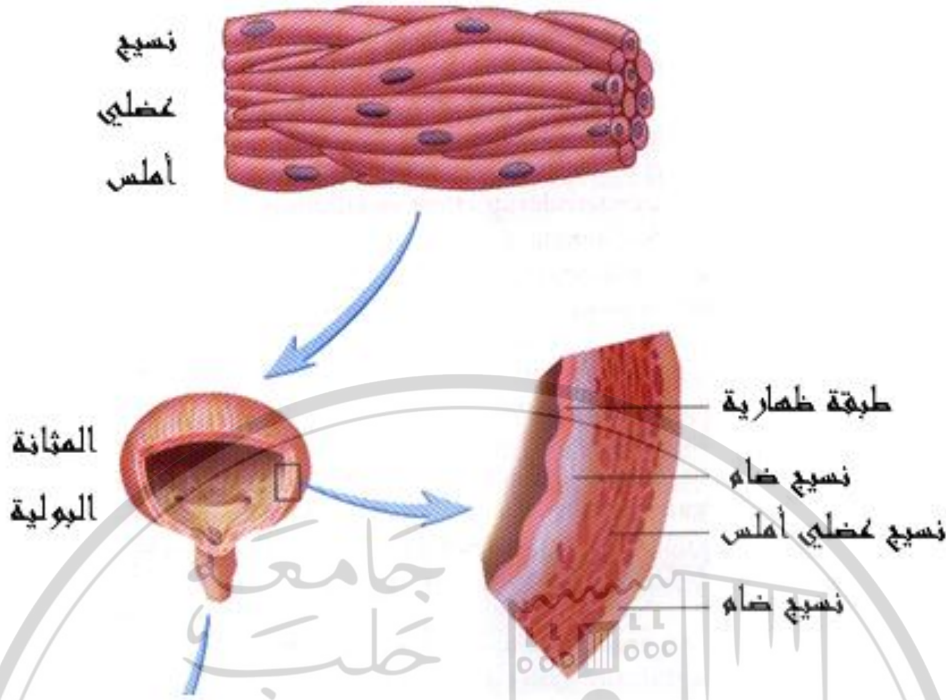
الكوندرية. كما أنها لا تحتوي على بروتين التربونين وإنما تحتوي على بروتين أخر له إلفه مع الكالسيوم الضروري للتقلص يسمى الكالمودولين Calmodulin.ويأتي معظم الكالسيوم الضروري لتفاعل الأكتين والميوزين من الوسط الخارجي للخلايا العضلية الملساء حيث يؤدي تفعيل العضلة الملساء إلى فتح قنوات الصوديوم- الكالسيوم والسماح للكالسيوم بالنفوذ إلى داخل الخلايا العضلية.

وبالاعتماد على نمط تنظيم الألياف العضلية الملساء في العضلات واستجابتها للمنبهات والوظيفة، يمكن تقسيم العضلات الملساء إلى:

أ-عضلات ملساء غير قابلة للاستثارة تلقائياً: أي العضلات التي لا تولد كمونات فعل تلقائياً ومثالها العضلات الملساء المبطنة للقصيبات الهوائية، وفي هذا النمط يبقى كمون الراحة مستقراً إلى أن ينبه إما عصبياً أو خلطياً ناتجاً عن نشاط بعض المواد الموضعية كالهيستامين المفرز من قبل الخلايا البدينة، ويكون التنبيه مصحوباً بنزع الاستقطاب يعقبه تقلص عضلي.

ب- عضلات ملساء تلقائية: أي العضلات التي تولد كمونات فعل تلقائياً، ومثالها العضلات التي تدخل في بنية جدار أنبوب الهضم والمثانة والحالب والأوعية الدموية. ويعتمد هذا النمط من العضلات على البث التلقائي لكمونات فعل تكونها مناطق معينة تدعى ناظمة بؤرية يمكنها أن تزيل استقطاب مجموعة من الخلايا ببطء حتى تصل بها إلى مستوى عتبة التنبيه، فتتكون كمونات فعل منتشرة قادرة على إثارة الفعالية التقلصية للعضلة، والتي يمكن أن يستمر تقلصها لفترات زمنية متفاوتة، مما يؤمن المقوية العضلية المميزة لهذه العضلات.

هذا وتتكون العضلات الملساء من خلايا عضلية ملاصقة لبعضها وترتبط مع بعض عبر أغشية سلمية (بمثابة مشابك كهربائية) ذات مقاومة ضعيفة تسمح للتيارات الشاردية المرافقة لكمونات الفعل بالعبور بحرية بحيث أن كمون الفعل المتشكل في أحد ألياف العضلة ينتقل عبر الأغشية بسرعة فائقة إلى الألياف المجاورة مما يدفع جميع ألياف الحزمة للتقلص بآن واحد لتأمين القوة الكافية لعمل هذه العضلات.



وتتميز العضلات الملساء بأن عملها يخضع لإشراف عصبي وهرموني ولبعض المركبات الخلطية الجوالة في الدم.

فالتنظيم العصبي للعضلات الملساء يتم بإشراف الجملة الودية Sympathic System والجملة نظيرة الودية Parasympathic System. حيث يتفرع محور العصبون الإعاشي بعد العقدي وينتشر أعلى الألياف العضلية دون أن يصنع معها ارتباطات بنيوية كتلك الموجودة في اللوحة المحركة الانتهائية للعضلات الهيكلية، وإنما توجد على مسار التفرعات الانتهائية للعصبونات الإعاشية انتفاخات غنية بحويصلات تمتلئ بالناقل العصبي، الأستيل كولين (نظير ودي) أو النورابينفرين (ودي). وبمجرد وصول الدفعات العصبية إلى النهايات المحورية للعصبونات الإعاشية، تدخل شوارد الكالسيوم إلى داخل الانتفاخات المحورية وتحرض الحويصلات على التحرك باتجاه الغشاء الخلوي وتدفعها لتحرير الناقل العصبي في الوسط الخارجي الخلوي. ينتشر الناقل العصبي في السائل الخلالي وعبره ينتقل إلى الخلايا العضلية الملساء ويرتبط بالمستقبلات النوعية الموجودة على سطح هذه الخلايا. فإذا كانت الدفعات العصبية قادمة من الجملة نظيرة الودية فإن النهايات المحورية تحرر في سوية العضلات الملساء الاستيل كولين الذي يرتبط في مستقبلات نوعية لأغشية خلايا العضلة الملساء مسبباً تبدلات في بنيتها الفيزيائية

الكيميائية تفتح على أثرها قنوات الصوديوم –الكالسيوم التي تسمح بتدفق هذه الشوارد من خارج الخلايا إلى داخلها، مما ينتج عنها نزع استقطاب أغشيتها وحصول استجابة استثارية، كما هو الحال في الأمعاء. وقد يسبب ارتباط الاستيل كولين في مستقبلات نوعية لأغشية خلايا العضلة الملساء فتح قنوات الكلور والبوتاسيوم وينتج عنه فرط استقطاب أغشية خلايا العضلة الملساء وحصول استجابة تثبيطيه، كما هو الحال في القلب. وللنورابينفرين في العضلات الملساء فعل معاكس للأستيل كولين.




جامعة
حلب
١٩٥٨
UNIVERSITY
OF
ALEPPO

الفصل التاسع

فيزيولوجيا الجملة العصبية

Nervous System Physiology

تؤمن الجملة العصبية بالتعاون مع الغدد الصم معظم الوظائف الناظمة للجسم، حيث تقوم الجملة العصبية بوجه عام بتنظيم الفعاليات السريعة في الجسم كالتقلص العضلي والتغيرات الحشوية السريعة وحتى معدلات إفراز بعض الغدد الصم. وتقسم الجملة العصبية من الناحية التشريحية إلى:

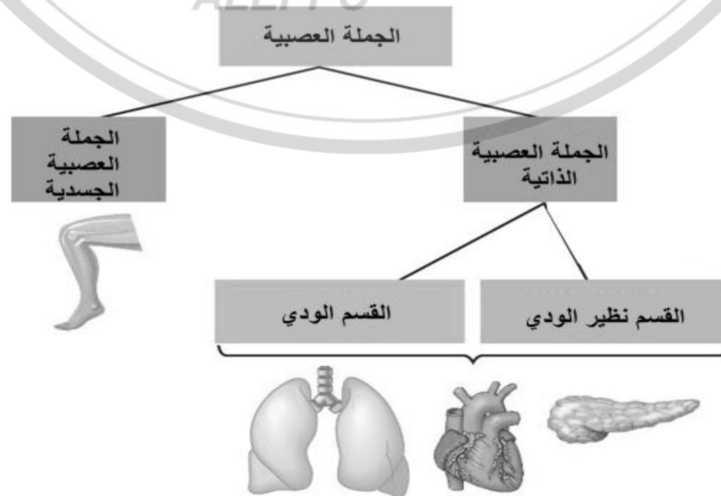
أ - جملة عصبية مركزية Central Nervous System: وتضم كلاً من الدماغ والنخاع الشوكي.

ب- جملة عصبية محيطية peripheral Nervous System: وتضم جميع الأعصاب المنتشرة في الجسم.

كما تقسم الجملة العصبية من الناحية الفيزيولوجية إلى:

أ- جملة عصبية إرادية Somatic nervous system: وتضم الأعصاب الجسدية التي تعصب العضلات الهيكلية والجلد. وهي جملة وظيفية إذا ما تعرضت للأذى، حدث شلل وضمور عضلي.

ب- جملة عصبية لاإرادية Autonomatic nervous system: وتضم الأعصاب الذاتية التي تعصب العضلات الملساء والغدد الصم وهي جملة تنظيمية، إذا ما تعرضت للأذى حدث اضطراب وظيفي داخل الجسم.



الجملة العصبية المركزية

Central Nervous System

1- أغشية الدماغ والنخاع الشوكي:

يحيط بالدماغ والنخاع الشوكي مجموعة من الأغشية تعرف بما يسمى بالسحايا Meninges، الشكل رقم (128).



الشكل رقم (128): أغشية الدماغ والنخاع الشوكي عند الإنسان

أ- الأم الحنون Pia-Mater: عبارة عن صفيحة رقيقة غنية بالأوعية الدموية، تغلف الجهاز العصبي المركزي.

ب- الغشاء العنكبوتي Arachnoid Mater: عبارة عن صفيحة رقيقة تتوضع بين الأم الجافية والأم الحنون.

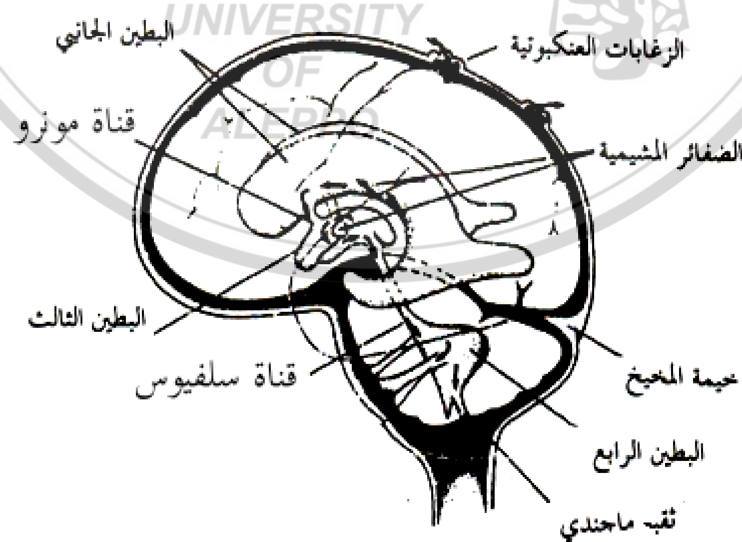
ج- الأم الجافية Dura Mater: عبارة عن صفيحة ضامة قاسية تلتصق بالسطح الداخلي لجوف القحف مؤدية دور السمحاق. كما تشكل الأم الجافية أماكن لتجميع الدم الوريدي (الجيوب القحفية الوريدية)، التي تصب فيها أوردة الدماغ، الأمر الذي يفسر مساهمتها في عملية تبريد الدماغ.

هذا ويوجد بين الغشاء العنكبوتي والأم الحنون حيز يتصل مع البطينات يعرف بالفراغ تحت العنكبوتي، يحتوي هذا الحيز على السائل الدماغي الشوكي.

2- السائل الدماغي الشوكي:

وهو عبارة عن سائل قوامه يشبه ماء النبع ليس له لون ولا رائحة، يحتوي على عدد قليل من الخلايا وعلى كمية قليلة من البروتين وعلى نسبة كبيرة من الغلوكوز. يملأ السائل الدماغي الشوكي الفراغ تحت الدماغ وتحت الأغشية المغلفة للدماغ والبطينات الدماغية والقناة المركزية للنخاع الشوكي.

يتكون السائل الدماغي الشوكي بمعظمه من الضفائر الوريدية المشيمية للبطينات والتي تتمثل بشبكات من الأوعية الدموية التي تبرز داخل البطينات مغطاة بخلايا ظهارية يتم عبرها ارتشاح جزء من المصورة الدموية إلى السائل الدماغي الشوكي. يمر السائل الدماغي الشوكي من البطينين الجانبيين عبر فرجة مونرو إلى البطين الثالث، وعبر قناة سلفيوس إلى البطين الرابع ومن هناك يتسرب السائل فوق الدماغ والنخاع الشوكي عبر الفتحة الجانبية للبطين الرابع والتي تدعى ثقب ماجندي المحروس بدسام فيوسانس، الذي يسمح بمرور السائل الدماغي الشوكي باتجاه واحد. وتساعد الأهداب الموجودة في الخلايا الظهارية في تحريك هذا السائل. وفي النهاية يعاد امتصاصه عبر الزغابات العنكبوتية إلى داخل الجيوب الوريدية في معظم مناطق الدماغ، (الشكل رقم 129).



الشكل رقم (129): سبيل السائل الدماغي الشوكي

أما وظيفياً، فالسائل الدماغي الشوكي يقوم بعدة وظائف أهمها:

أ- حماية النسيج العصبي من الصدمات.

ب- يساهم في إزالة الفضلات من النسيج العصبي وخاصة المواد الكبيرة وتلك غير الذوابة بالدهون والتي يمكنها أن تتحرك بسهولة عبر جدران الشعيرات الدموية.

ج- تزويد خلايا النسيج العصبي بالمواد الغذائية في المناطق التي لا تخترقها الأوعية الدموية.

د- المساهمة في تنظيم التوازن المائي الملحي، حيث يعتقد أن تركيز NaCl في السائل الدماغي الشوكي يشكل أحد العوامل التي تنقل الإحساس بالعطش وإطلاق الهرمون المضاد لإدرار البول.



3- أقسام الجملة العصبية المركزية:

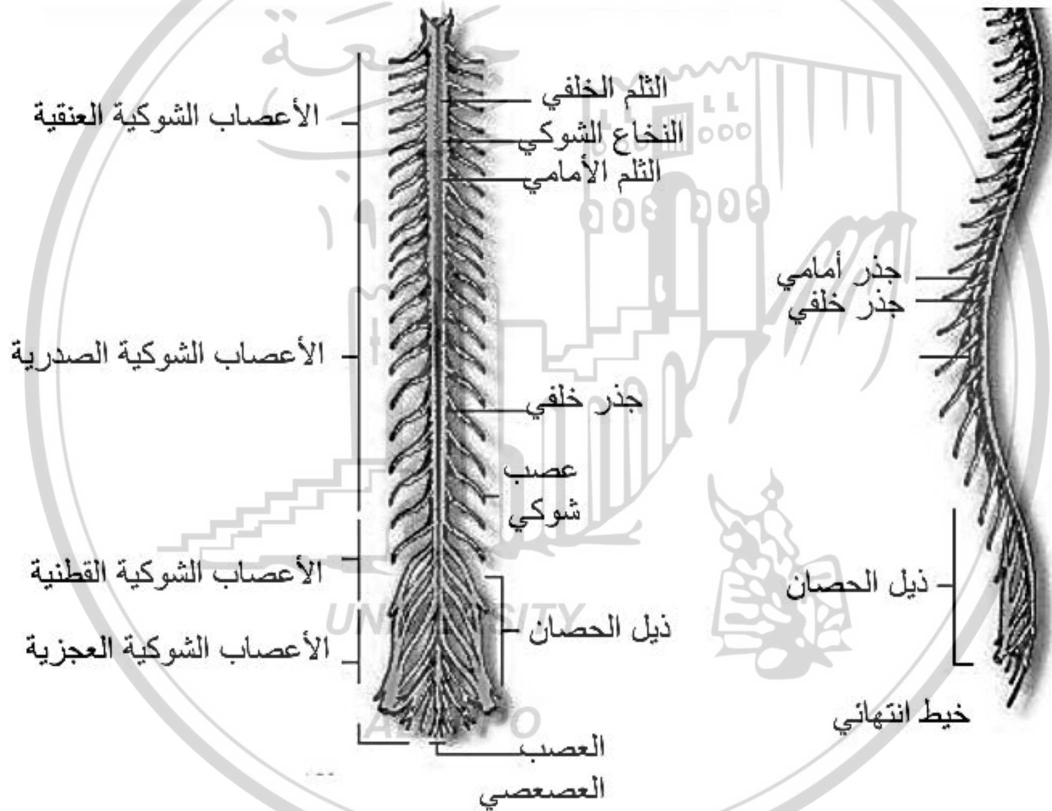
تقسم الجملة العصبية المركزية إلى قسمين:

أولاً: النخاع الشوكي.

ثانياً: الدماغ.

أولاً : النخاع الشوكي Spinal Cord

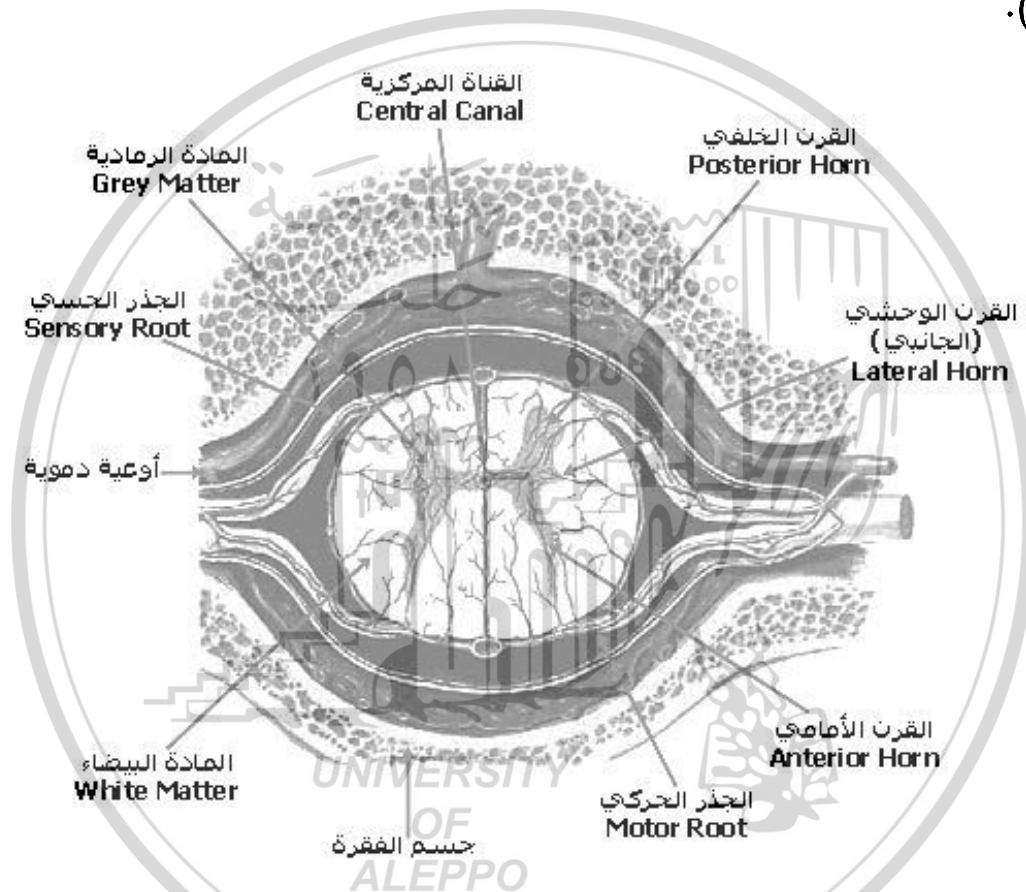
يستقر النخاع الشوكي في القناة النخاعية للفقرات، ويأخذ شكل حبل أسطواني مسطح قليلاً بالاتجاه الأمامي الخلفي، ومائل نحو البياض. ومتوسط طوله (45) سم. يبدأ النخاع الشوكي من الأعلى بالبصلة السيسائية في مستوى الفهقة ويستمر على طول القناة الفقارية ولكنه أقصر منها إذ ينتهي بالأسفل في مستوى الفقرة القطنية الأولى على شكل مخروط يليه خيط نحيل يعرف بالخيط الانتهائي. يقوم الخيط الانتهائي بمهمة تثبيت النهاية المخروطية للنخاع الشوكي بالعصعص، (الشكل رقم 130).



الشكل رقم (130): العمود الفقري وبداخله النخاع الشوكي

يتكون النخاع الشوكي نسيجياً من مادتين أساسيتين هما: المادة الرمادية والمادة البيضاء. المادة الرمادية تضم أجسام العصبونات والألياف المجردة من النخاعين وخلايا الدبق العصبي التي تملأ المسافات بين الخلايا العصبية، بينما المادة البيضاء تضم مجموع محاور الخلايا العصبية الموجودة في المادة الرمادية، ومحاور الخلايا الموجودة في العقد الشوكية. تتوزع هاتان المادتان في النخاع الشوكي في وسطين متجزئين: المادة

الرمادية مركزية وتأخذ شكل حرف H، ويميز فيها قرنان خلفيان حسيان، وقرنان أماميان حركيان. إضافة إلى ذلك وعلى طول المنطقة الصدرية والقسم العلوي من المنطقة القطنية للنخاع توجد قرون جانبية تتمركز فيها الخلايا الودية. في حين تتوضع أجسام الخلايا الحسية على مسار الأعصاب الحسية في الثقوب بين الفقرات، مشكلة ما يعرف بالعقد الشوكية Spinal Ganglion، وتتوضع الخلايا المحركة في القرون الأمامية، الشكل (رقم 131).



الشكل رقم (131): مقطع عرضي في النخاع الشوكي

أما المادة البيضاء فتؤلف حول المادة الرمادية أسطوانة محفورة بثلمين متقابلين، أحدهما خلفي يدخل في عمق المادة البيضاء حتى يصل إلى المادة الرمادية، (وذلك فيما بين القرنين الخلفيين) والأخر أمامي يتوغل فيما بين القرنين الأماميين، ولكنه لا يصل إلى المادة الرمادية تاركاً المجال لمنطقة بيضاء تتوضع بينهما تعرف باسم الملتقى الأبيض. كما ويطلق على مناطق بزوغ الجذور المكونة للأعصاب الشوكية اسم الأثلام الجانبية.

يصدر عن النخاع الشوكي وإلى الجانبين (31) شفعاً من الأعصاب الشوكية المترتبة بعضها فوق بعض، وموزعة على النحو التالي:

8 أشفاع عنقية، ترقم من (C1 وحتى C8).

12 شفع صدري وترقم من (T1 وحتى T12).

5 أشفاع قطنية ترقم من (L1 وحتى L5).

5 أشفاع عجزية ترقم من (S1 وحتى S5).

شفعاً واحداً عصعصياً C.

يرتبط كل عصب شوكي بالنخاع الشوكي عن طريق جذرين: أمامي (حركي) وخلفي (حسي)، ولكل جذر حسي عقدة شوكية. يتقارب هذان الجذران نحو ثقب الانضمام الموافق في القناة الفقرية ثم يجتمعان فور مغادرته مشكلين العصب الشوكي الذي ينقسم على الفور إلى فرع حركي وفرع حسي، أي أن كُلّ الأعصاب الشوكية أعصاب مختلطة.

1- وظائف النخاع الشوكي:

وظيفياً، يقوم النخاع الشوكي بوظيفتين أساسيتين هما:

أ – النشاط الانعكاسي:

تقع في النخاع الشوكي المراكز الانعكاسية لمختلف الوظائف ومنها مراكز النشاط العضلي الانعكاسي، حيث إن كل قطعة من النخاع الشوكي لها علاقة بمجموعة محددة من العضلات. ففي مستوى الفقرات العنقية الثالثة والرابعة يوجد مركز تفعيل عضلات الحجاب الحاجز، وفي مستوى الفقرة العنقية الخامسة إلى الفقرة الصدرية الأولى توجد مراكز تفعيل عضلات الأطراف الأمامية والزنار الكتفي. ولكن في مستوى الفقرات الصدرية توجد مراكز تفعيل عضلات القفص الصدري والجذع. أما في الجزء القطني للنخاع الشوكي فتوجد مراكز تفعيل عضلات الزنار الحوضي والأطراف الخلفية.

بالإضافة إلى ذلك يوجد وفي مستويات مختلفة من النخاع الشوكي مراكز بعض المنعكسات ذات الصلة بالحياة الإعاشية والتكاثر. ففي القسم الصدري القطني يوجد مركز التعرق والمركز المحرك الوعائي. بدليل أن إثارة هذا المراكز يسبب في تغير قطر الأوعية الدموية وإفراز العرق. أما في القسم العجزي فتوجد مراكز التبول والتغوط والنشاط الجنسي.

ب – نقل وتمرير السيالات العصبية:

1- المسالك الحسية الصاعدة:

أ- الحزمة الرشيقة والوتدية Cuneate -Gracile Bundle:

تتوضع هذه الحزمة في الحبال الخلفية للنخاع الشوكي. تنقل الإحساسات التي تتطلب دقة عالية في تحديد موقع المنبه مثل حس اللمس المركب وحس الاهتزاز وحس الوضعة إلى المهاد البصري المقابل بعد أن تصالبة في البصلة السيسائية، ومن المهاد البصري إلى باحات الحس الجسدي في الفص الجداري في القشرة المخية حيث يتم تأويلها كحس شعوري.

ب- الحزمة الشوكية المهادية Spino-Thalamic Bundle

تتوضع في الحبال الأمامية والجانبية للنخاع الشوكي. تنقل هذه الحزم إحساسات الألم والحرارة وبعض الإحساسات اللمسية إلى المهاد البصري في الجهة المقابلة بعد أن عبرت النخاع الشوكي، ومن المهاد البصري إلى باحات الحس الجسدي في الفص الجداري في القشرة المخية.

ج- الحزمة الشوكية المخيخية Spino-Ccerebellar Bundle:

تتوضع في القسم السطحي من الحبل الجانبي. وتقسم هذه الحزمة إلى شفعين: الحزمة الشوكية الخلفية (المستقيمة) والحزمة الشوكية الأمامية (المتصالبة).

تقوم الحزمة الشوكية المخيخية الخلفية بنقل إحساسات الحس العميق الواردة من المغازل العضلية Muscle Spindles وأعضاء غولجي الوترية Tendon Golgi وأعضاء روفيني المفصلية إلى الخلايا الحسية الموجودة في قاعدة القرون الخلفية التي تعرف بعمود كلارك Clark's Column ومنها إلى المخيخ لتبلغه عن حالة التقلص العضلي ودرجة التوتر المطبق على أوتار العضلات وأوضاع وسرعة حركات الجسم لحظة بلحظة، حيث يقوم المخيخ بدوره في تنسيق الحركات العضلية وتأمين التوازن المناسب.

أما الحزمة الشوكية المخيخية الأمامية فتنقل إلى المخيخ وعن طريق الخلايا الحسية الموجودة في قاعدة القرون الخلفية والتي تعرف بنواة بيشتروف معلومات عن الايعازات الحركية القادمة من الفص الجبهي إلى العصبونات المحركة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي، أي تخبر المخيخ عن نمط الحركة التي سوف يقوم بها الجسم.

2 – المسالك الحركية النازلة:

أ – الحزم الهرمية Pyramidal Bundle:

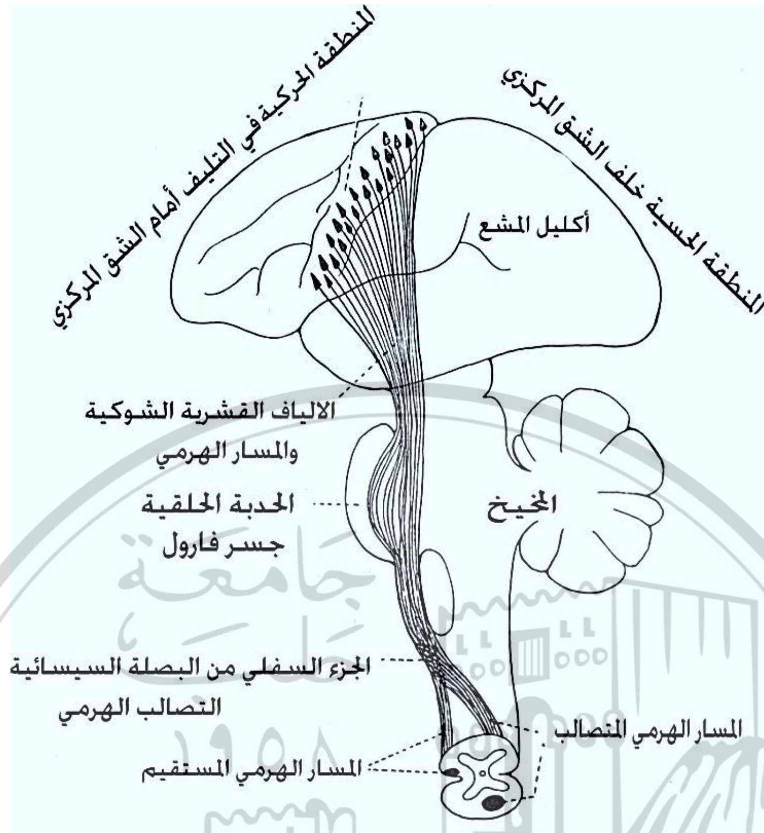
تتألف الحزم الهرمية من محاور الخلايا الهرمية الكبيرة (خلايا بيتز Betz) التي تتوضع أجسامها في الباحات المحركة في الفص الجبهي من القشرة المخية. يعبر القسم الأكبر من ألياف هذه الحزمة إلى الجهة المعاكسة لجهة نشوئها، وفي مستوى الجزء السفلي من البصلة السيسائية تتشكل الحزمة الهرمية المتصالبة التي تهبط عبر الحبال الجانبية للنخاع الشوكي لتتشابك مع العصبونات المحركة للعضلات الهيكلية في القرون الأمامية للنخاع الشوكي. أما القسم المتبقي من ألياف الحزمة الهرمية فيجتاز البصلة السيسائية دون تصالب مؤلفاً حزمة هرمية مستقيمة تهبط في جهة نشوئها نفسها عبر الحبل الأمامي للنخاع الشوكي ثم تعبر النخاع الشوكي إلى الجهة المقابلة منتهية على العصبونات المحركة للعضلات الهيكلية في القرون الأمامية للنخاع الشوكي. ونتيجة لتصالب الحزم الهرمية، فإن كل نصف قشرة مخية محركة يمد عصبياً الجزء المعاكس من الجسم، (الشكل رقم 132).

ب – الحزم خارج الهرمية Extra Pyramidal Bundle:

وتتألف هذه الحزم من محاور أجسام الخلايا الواقعة في مستويات مختلفة خارج القشرة المخية، والتي غالبا ما تتصالب في مستوى جذع الدماغ، وينضم إلى هذه الحزم كلٌّ من:

1-الحزمة الحمراء الشوكية: تنشأ من النواة الحمراء في الدماغ المتوسط. وتتلقى هذه الحزمة الدفعات العصبية الواردة من المخيخ ومن النوى القاعدية، ثم تهبط عبر الحبال الجانبية بعد تصالبها في جذع الدماغ لتتشابك مع العصبونات المحركة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي. وينسب لهذه الحزمة دور في منعكسات الوضعية.

2–الحزمة الدهليزية الشوكية: تنشأ من النواة الدهليزية الجانبية، وتقسم إلى شفعين خلفية مستقيمة، وأمامية متصالبة. تتلقى هذه الحزمة الدفعات العصبية الواردة من القسم الدهليزي في الأذن الداخلية ثم تهبط في النخاع الشوكي عبر الحبال الأمامية والجانبية متشابكة مع العصبونات المحركة المنظمة لتوتر العضلات والمنسقة للفاعلية العضلية والتوازن.



الشكل رقم (132): مخطط يمثل الحزم الهرمية

3 –الحزمة الحدبية الشوكية: تصدر هذه الحزمة عن الحدبات التوأمية. تتلقى هذه الحزمة الدفعات العصبية الواردة من شبكية العين وقوقعة الأذن، ثم تهبط في النخاع الشوكي عبر الحبال الأمامية والجانبية بعد أن تم التصالب في جذع الدماغ، وينسب لهذه الحزمة دور في المحافظة على التوازن.

4-الحزمة الشبكية الشوكية: تنشأ من محاور العصبونات العائدة للتشكيل الشبكي الممتدة على طول البصلة السيسائية. تتلقى هذه الحزمة الدفعات العصبية الواردة من القشرة المخية والنواة الحمراء ثم تهبط في النخاع الشوكي عبر الحبال الجانبية متشابكة مع العصبونات المحركة في القرون الأمامية، وظيفتها تثبيط العضلات المحورية في الجسم.

5- حزمة جسريه شوكية: تنشأ من محاور العصبونات العائدة للتشكيل الشبكي الممتدة على طول الجسر. تتلقى هذه الحزمة الدفعات العصبية الواردة من النوى الدهليزية في البصلة السيسائية والنواة السقفية في المخيخ، وظيفتها تفعيل العضلات المحورية في الجسم.

ثانياً: الدماغ The Brain

يزن الدماغ عند الإنسان حوالي (1.4) كغ، ولكن هناك اختلاف فردي في وزن الدماغ، ودماغ الذكور أكبر بحوالي 10% من دماغ الإناث. ولكن لم تسجل أي علاقة بين دماغ الإنسان ودرجة ذكائه. ويقسم دماغ الإنسان إلى ثلاثة أقسام رئيسة:

1- جذع الدماغ Brain stem.

2 - المخيخ Cerebellum.

3- المخ Cerebrum.

1ـ جذع الدماغ Brain stem

يتكون جذع الدماغ من مادة رمادية موزعة على شكل كتل خلوية مبعثرة بين الألياف البيضاء يطلق عليها اسم النوى العصبية. معظم هذه النوى يساهم في تشكيل نوى الأعصاب القحفية التي تشكل استطالتها الأعصاب القحفية (من العصب الثالث وحتى العصب الثاني عشر). أما العصبان الأول والثاني فيصدران عن المخ.

ويضم جذع الدماغ كلاً من: البصلة السيسائية، والحدبة الحلقية، والساقين المخيتين والحدبات التوأمية، (الشكل رقم 133).

أ- البصلة السيسائية Medulla Oblongata:

تتوضع البصلة السيسائية ضمن القحف محددة بين الجزء الواقع بين النخاع الشوكي من الأسفل والحدبة الحلقية من الأعلى. تنفصل البصلة السيسائية عن الحدبة الحلقية بوساطة ثلم واضح يعرف بالثلم البصلي الجسري. كما يظهر على الوجه البطني للبصلة ثلم متوسط يتقطع في نهايته الخلفية نتيجة تصالب ألياف عصبية تنتمي إلى الحزمة الهرمية المتصالبة. وعلى جانبي الثلم المتوسط يوجد الهرمان البصليان أو الهرمان الأماميان المتمثلان بحبلين بارزين يشكلان استمراراً للحبال الأمامية الموجودة في النخاع الشوكي. تتحدد الأهرامات البصلية من الخارج بالثلم الجانبي الأمامي حيث تخرج الجذور المكونة للعصب المحرك تحت اللساني (Hypoglossus. N(XII ، وعلى الوجه البطني للبصلة السيسائية ما بين الثلم الجانبي الأمامي والثلم الجانبي الخلفي تتوضع الزيتونتان

البصليتان Olivesbulbaires بشكل بروزين بيضويين يشكلان استمراراً للحبال الجانبية في النخاع الشوكي. أما العصب البلعومي اللساني (IX) Glosso Pharynges. N ، والعصب المبهم (X) Vagus.N والعصب الشوكي (XI)N . Accessory فتخرج من الثلم الجانبي الخلفي للبصلة السيسائية، بينما العصب المحرك العيني الوحشي (VI)،Abducent.N والعصب الوجهي (VII)Facialis.N والعصب السمعي (VIII) Vestibulocochlearis. فتخرج من الثلم البصلي الجسري، (الشكل رقم 133).

ب- الحدبة الحلقية أو جسر فارول Pons Varol:

سميت الحدبة الحلقية بالجسر لأنها تربط المخيخ بجذع الدماغ. وهي تأخذ شكل حلقة مستعرضة تغطي جذع الدماغ من الناحية الأمامية وتتحدد في الأسفل بالثلم البصلي الجسري الذي يفصلها عن البصلة السيسائية، وفي الأعلى بالثلم الجسري السويقي الذي يفصلها عن الساقين المخيتين. ويصدر عن الحدبة الحلقية العصب مثلث التوائم المختلط (V) Trigemins.N.

تحتوي البصلة والحدبة الحلقية على بنيتين متمايزتين هما نوى الرفاء Raphe Noyaux والتشكيل الشبكي Reticular Formation اللتان تلعبان دوراً في اليقظة والنوم.

ج-الساقان المخيتان Cerebral peduncle:

هما كتلتان كبيرتان تتألفان أساساً من مادة بيضاء تربط الحدبة الحلقية بمنطقة المهادين البصريين. يخرج من الساقين المخيتين شفعان من الأعصاب القحفية: العصب المحرك العيني (III) Oculomotorius.N الذي يخرج من الناحية البطنية، والعصب البكري (IV) Trochlearis.N، الذي يخرج من الناحية الظهرية ليلتف بعد ذلك حول جذع الدماغ ويظهر على الناحية البطنية، ،(الشكل رقم 133).

د -الحدبات التوأمية(الأكيمات) العلوية والسفلية Colliculus Superior inferior:

تتألف الحدبات التوأمية من شفعين متناظرين من الكتل البيضوية. حدبتان توأميتان سفليتان تلتحمان مع الجسم الركبي المتوسط Medial Geniculate Body، وحدبتان توأميتان علويتان تلتحمان مع الجسم الركبي الجانبي Lateral Geniculate Body.

وفي الثلم الفاصل بين الحدبتين التوأميتين العلويتين تستقر الغدة الصنوبرية Pineal Gland.

تتكون الحدبات التوأمية نسيجياً من كتل من مادة رمادية مركزية محاطة بطبقة رقيقة من مادة بيضاء محيطية. تتوضع الحدبتان التوأميتان العلويتان على الطريق البصري، فهما مركزان للمنعكسات البصرية. تستطيع هاتان الحدبتان أن تغيرا وضع العينين والرأس والجذع والأطراف بناءً على التنبيهات الواردة من شبكية العين. أما الحدبتان التوأميتان السفليتان فتتوضعان على الطريق السمعي، فهما مركزان للمنعكسات السمعية. تستطيع هاتان الحدبتان أن تغيرا وضع الرأس والجذع بناءً على التنبيهات الواردة من القوقعة في الأذن الداخلية. نستنتج من ذلك أن الحدبات التوأمية تلعب دوراً مشاركاً في المحافظة على التوازن.

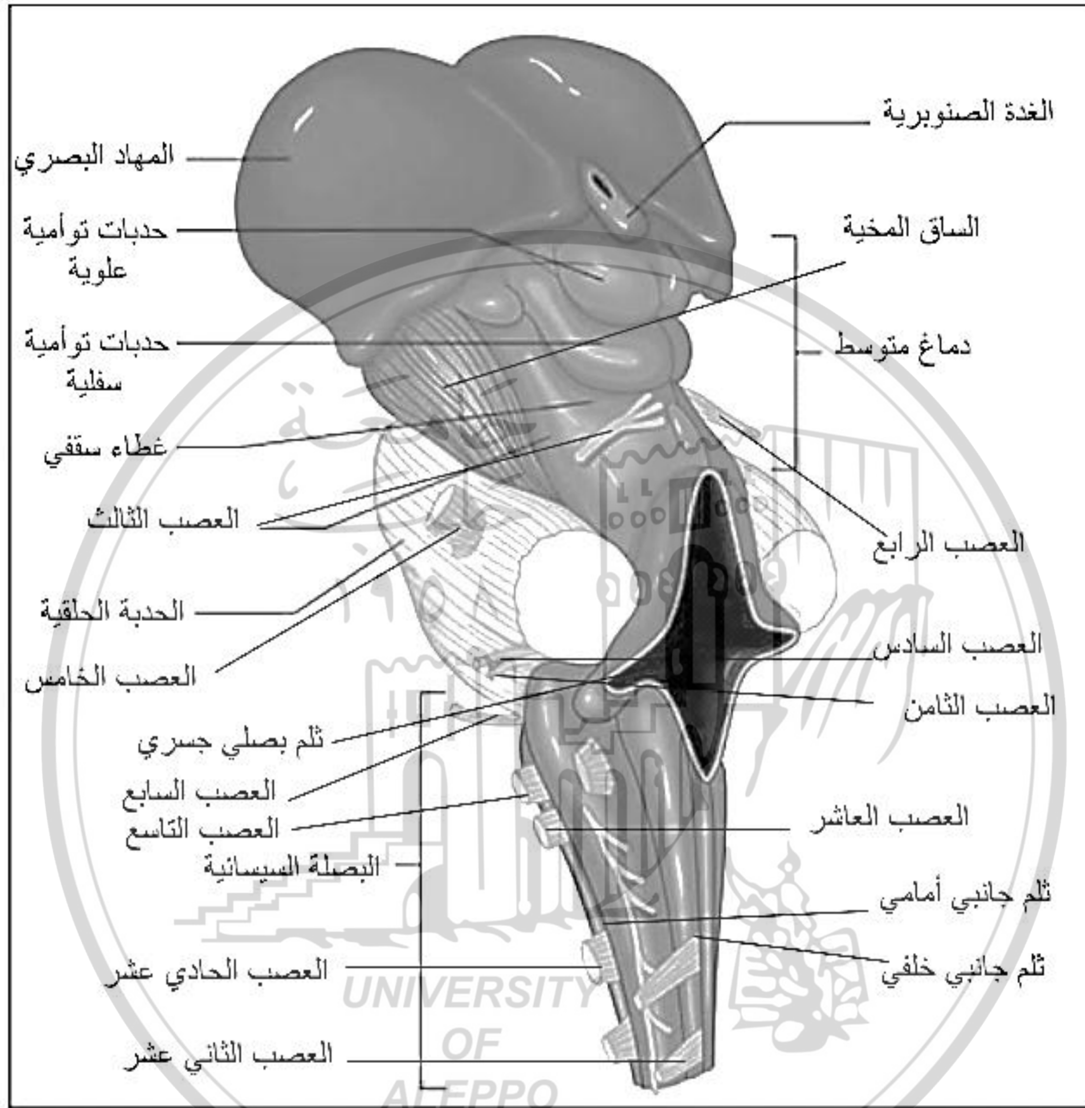
هذا وتشكل الحدبات التوأمية والساقين المخيتين الدماغ المتوسط الذي ينضم إليه أيضا كل من النواة الحمراء والمادة السوداء.

- المادة السوداء: هي بنية غنية بخلايا صباغيه، الأمر الذي يعطيها اللون الأسود، تحرر عصبوناتها الدوبامين الذي يتدخل في الدارات العصبية المنظمة للحركة.
- النواة الحمراء: هي بنية ذات غزارة دموية، الأمر الذي يعطيها اللون الأحمر، وبفضل الدفعات العصبية الواردة إلى النواة الحمراء من المخيخ والنوى القاعدية، وكذلك الدفعات العصبية الصادرة عنها عبر ألياف الحزمة الحمراء الشوكية، تلعب هذه النواة دوراً مساعداً في المحافظة على التوازن والمحافظة على المقوية العضلية الاعتيادية. علماً أن النواة الحمراء هي محطة وصل وترحيل طالما أنها تتلقى الدفعات العصبية القادمة من المراكز العليا مثل النوى القاعدية والمخيخ.

أما وظيفياً، يقوم جذع الدماغ بوظيفتين أساسيتين هما: نقل وتمرير السيالات العصبية والنشاط الانعكاسي.

ترتبط الناقلية بوجود الطرق الحسية الصاعدة والحركية النازلة في جذع الدماغ. تمثل الطرق الحسيه الصاعدة في جذع الدماغ بـ (الفتيل الإنسي – الحزمة الشوكية

المهادية – الحزمة الشوكية المخيخية)، بينما تمثل الطرق الحركية النازلة بـ (الحزمة الهرمية التي تشكل فيها ألياف الحزم الهرمية المتصالبة نسبة 9/10 من أليافها).



الشكل رقم (133)**: يمثل جذع الدماغ ومخارج الأعصاب القحفية**

أما النشاط الانعكاسي فيعبر عنه من خلال المنعكسات البصلية الجسرية، والتي تقسم إلى نوعين من المنعكسات: منعكسات بصلية جسريه خاصة بوظائف الاتصال كمنعكس إغلاق الجفون ومنعكس البلع ومنعكس المضغ ومنعكسات الوضعية والتوازن. ومنعكسات حشوية تعمل على تنظيم الوظيفة التنفسية والهضمية وتنظيم عمل القلب والافرازات الغدية من جهة، وتنظيم المنعكسات الدفاعية كمنعكس السعال ومنعكس العطاس ومنعكس التقيؤ من جهة أخرى.

2ـ المخيخ The Cerebellum:

يشغل المخيخ موقعاً خاصاً بالنسبة للمحور الدماغي الشوكي، فهو يقع في قاع الحفرة خلف الحدبة الحلقية وفوق البصلة السيسائية، منفصلاً عنها بالبطين الرابع.

يزن المخيخ في الإنسان حوالي (140) غراماً، ويتألف نسيجياً من مادة رمادية محيطية تشكل ما يعرف بالقشرة المخيخية ومادة بيضاء مركزية تغوص في أعماق المادة السنجابية، ويكون تداخل هاتين المادتين مشعباً ومعقداً، بحيث يبدو مظهرها على المقطع العرضي شبيهاً بأغصان شجرة، الأمر الذي دعا إلى تسميتها بشجرة الحياة.

تتألف المادة البيضاء من ألياف ذات غمد نخاعي، بعضها وارد والآخر صادر تشاهد على شكل ثلاث أشفاع من السويقات المخيخية.

1 – السويقة المخيخية العلوية: تتكون بشكل رئيسي من الألياف الواردة من النخاع الشوكي إلى المخيخ والألياف الصادرة عن المخيخ إلى المراكز العليا (المهاد البصري– القشرة المخية).

2– السويقة المخيخية المتوسطة: تتألف من الألياف الواردة من النوى الجسرية، أي تصل بين المخيخ والجسر.

3– السويقة المخيخية السفلية: تتألف بشكل رئيسي من الألياف الواردة من جذع الدماغ والنخاع الشوكي إلى المخيخ والألياف الصادرة عن المخيخ إلى البصلية السيسائية.

أما القشرة المخيخية فهي بمثابة طبقة مستمرة تلتف من حين لآخر لتشكل التلافيف التي يطلق على أعمقها اسم الشقوق Fissures. تقسم تلك الشقوق سطح المخيخ إلى فصوص وفصيصات، وأهم هذه الشقوق:

1– الشق الخلفي الجانبي: يتصف بأنه عريض وعميق ويفصل الفص الندفي العقيدي أو ما يعرف عند الانسان بالدودة Vermisعن جسم المخيخ.

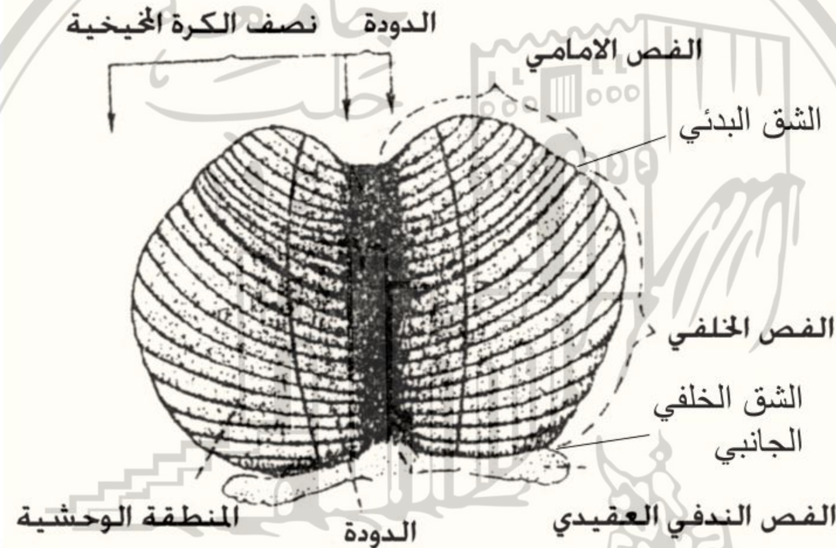
2–الشق البدائي: يتصف بأنه أقل عمقاً ويفصل جسم المخيخ إلى فص أمامي وفص خلفي.

وبناء على ذلك يتألف المخيخ من ثلاثة فصوص، (الشكل رقم 134):

أ- الفص الندفي العقيدي أو الفص الدودي Vermis Lobe: يتلقى هذا الفص الدفعات العصبية الواردة من النوى الدهليزية في البصلة السيسائية عبر السويقة المخيخية السفلية.

ب- الفص الأمامي Anterior Lobe: يتلقى هذا الفص الدفعات العصبية الواردة من النخاع الشوكي عبر السويقة المخيخية السفلية.

ج- الفص الخلفي Posterior Lobe: هو أكبر الفصوص المخيخية، يتلقى الدفعات العصبية الواردة من نصفي الكرة المخية والنوى الجسرية عبر السويقة المخيخية الوسطى.



الشكل رقم (134): الشقوق والفصوص المخيخية كما ترى من الجانب الخلفي السفلي

كما يوجد ثلاثة أزواج من النوى السنجابية شفعية الترتيب منطمرة في أعماق المخيخ:

1 - النواة المسننة Dentale Nucleus: تتوضع في الجانب الوحشي لنصف الكرة المخيخية. ويصدر عنها ألياف إلى القشرة المخية المحركة عبر السويقة المخيخية العلوية وهي مسؤولة عن تنظيم الحركات الارادية.

2- النواة السقفية Stege Nucleus: وتتوضع بالقرب من الدودة. ويصدر عنها ألياف إلى النوى الدهليزية عبر السويقة المخيخية السفلية، وهي مسؤولة عن الوضعة والتوازن.

3 – النواة البينية Interposed Nucleus: وتتوضع بين النواة المسننة والنواة السقفية، ويصدر عنها ألياف إلى النواة الحمراء في الجانب المقابل، عبر السويقة المخيخية العلوية، وهي مسؤولة عن تنسيق العمل بين التقلص العضلي في العضلات الباسطة والقابضة في الأجزاء المحيطية من الأطراف ولاسيما في اليدين والأصابع والإبهامين.

يقوم المخيخ بالتنسيق مع القشرة المخية والنوى القاعدية بالمحافظة على الوضعية المناسبة والتوازن الضروريين للمشي والركض، ولإنجاز الحركات الإرادية، كتلك اللازمة للكتابة وتناول الطعام، ولأداء الحركات المتكررة والسريعة التغير مثل الركض والضرب على الآلة الكاتبة والعزف على البيانو وحتى التكلم.

إضافة إلى دور المخيخ في المحافظة على التوازن مساهمته في تعاقب الفعاليات الحركية فهو يراقب ويصحح الفعاليات الحركية المثارة بوساطة أجزاء أخرى من الدماغ. فهو يتلقى باستمرار آخر المعلومات عن الخطة الموضوعة للتقلص العضلي بوساطة باحات التنظيم الحركي في الأجزاء الدماغية الأخرى من جهة، ويستقبل معلومات حسية مستمرة من الأجزاء المحيطية من الجسم لتعيين التغيرات المتلاحقة التي تطرأ على كل جزء من الجسم (وضعه وسرعة حركته والقوى المؤثرة فيه) من جهة أخرى. يوازن المخيخ بين الحركات الفعلية التي تعدها له معلومات التلقيم الراجع الحسي القادمة من المحيط، والحركات التي تعدها له الجملة الحركية، فإذا ما حدث اضطراب في هذه الموازنة قام المخيخ بإرسال معلومات مصححة ملائمة إلى الجملة الحركية بقصد زيادة مستويات تفعيل العضلات المسؤولة أو إنقاصها.

من أجل التعرف على وظائف المخيخ لجأ الباحثون إلى استخدام طريقة التنبيه الكهربائي لفصوص المخيخ:

1– التنبيه الكهربائي للدودة أكد مسؤوليتها عن المنعكسات التوازنية، بدليل إن استئصال الدودة يؤدي إلى ظهور أعراض انعدام التوازن.

2– التنبيه الكهربائي للفص الأمامي أكد دوره في الإشراف على المقوية العضلية وعلى المنعكسات التعويضية التي تؤمن التوازن الساكن. بدليل إن استئصال الفص الأمامي يتبع بفرط مقوية العضلات الباسطة واضطرابات في السير والوضعة.

3- التنبيه الكهربائي للفص الخلفي أكد دوره الكبير بالإشراف على التوازن الحركي، فهو يعزز المقوية ولا يثبطها. بدليل إن استئصال الفص الخلفي يتبع بهبوط مقوية العضلات الخاصة بالوضعية وإلى استرخاء مفصلي.

3ـ المخ The Cerebrum :

يطلق على القسم الأمامي من الدماغ اسم المخ ، يشكل القسم الخارجي منه القشرة المخية ويضم إلى المخ **كُلٌّ** من البنى التالية:

أ- المهادان البصريان.Thalamus

ب- الوطاء Hypothalamus.

ج- النوى القاعدية Basal Nucleus.

ـد نصفي الكرة المخية.Cerebral Hemispheres

أ- المهادان البصريان The Thalamus:

المهادان البصريان عبارة عن كتلتين بيضويتين من المادة السنجابية، يتصلان ببعضهما بوساطة جسر متوسط يسمى الملتقى السنجابي. ويقع المهادان البصريان أعلى البطين الثالث.

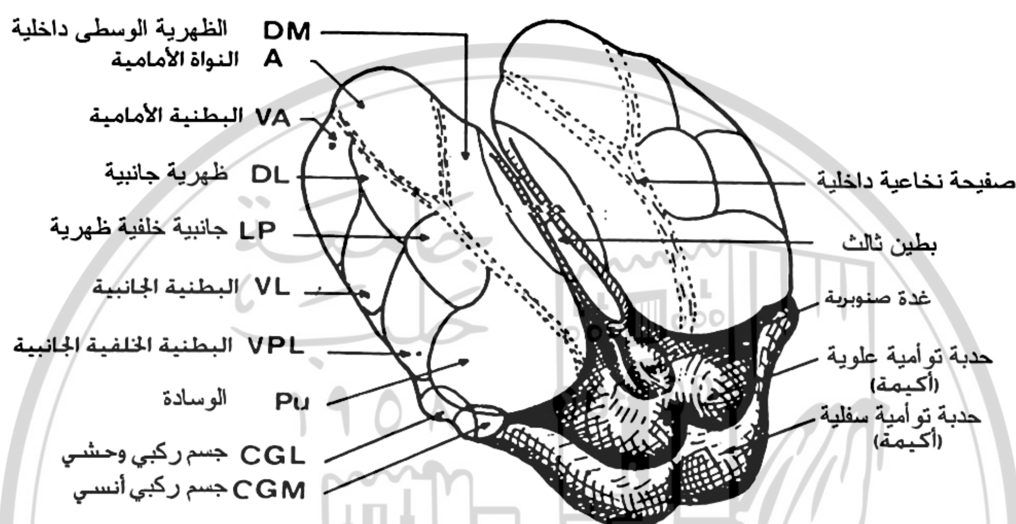
يشكل المهادان البصريان مع الأجسام الركبية محطة وصل وتحويل على الطريق الحسي الصاعد، إذ تنتهي الألياف الحسية الواردة من جهة واحدة من الجسم إلى المهاد البصري في الجهة المقابلة. ثم تنطلق من المهاد البصري ألياف تتجه نحو الباحات الحسية الأولية في القشرة المخية، ويقسم كل مهاد البصري Thalamus إلى قسمين:

1- **المهاد الخلفيPosterior Thalamus:**

يحتوي المهاد الخلفي على عدد من النوى التي لها علاقات تشريحية معقدة بعضها ببعض. ولكن وتبعاً للوظيفة، فقد قسم الفيزيولوجيون المهاد الخلفي إلى نوى خارجية وأخرى داخلية.

أ- النوى الخارجية Extrinsic Nucleus: هي مجموعة النوى التي ترد إليها ألياف قادمة من مناطق خارج المهاد ويصدر عنها ألياف تنتهي في القشرة المخية. وينضم إلى هذه المجموعة كُلٌّ من النوى التالية، (الشكل رقم135).

1- النوى البطنية الخلفية Ventral Posterior Nucleus: تعد النوى البطنية الخلفية محطة على الطريق الحسي الصاعد، فهي تقوم بتحويل سيالات اللمس والضغط والألم والحرارة القادمة من المستقبلات الحسية الجلدية في الجسم عن طريق منظومة الحبل الخلفي والحبل الجانبي الأمامي، إلى الباحات الحسية الجسمية في الفص الجداري من القشرة المخية.



الشكل رقم (135): تمثيل تخطيطي للنوى الرئيسية المهادية

2- النوى البطنية الجانبيةVentral Lateral Nucleus: تعد هذه النوى محطة على طريق المعلومات الواردة من النواة المسننة في المخيخ، فهي تقوم بتحويل المعلومات القادمة من المخيخ إلى الباحات القشرية المحركة في الفص الجبهي من القشرة المخية.

3- النواة الأمامية Anterior Nucleus: لا تمثل النواة الأمامية الضخمة محطة وصل وترحيل على الطريق الشمي فقط كما ساد الاعتقاد فترة من الزمن، فهي مركز ردود الفعل العاطفية. بدليل إن التخريب الكلي لهذه النواة أدى إلى تشويش الشم ورفع عتبة المنبهات القادرة على تحريض الغضب والسعادة والسرور.

4- النوى الخلفية Posterior Nucleus وتسمى أيضاً الوسادة Pulvinar وتضم كُلاً من:

- الجسم الركبي المتوسط Medial Geniculate Body: يعد الجسم الركبي المتوسط محطة على الطريق السمعي، فهو يقوم بتحويل المعلومات السمعية الواردة من قوقعة الأذن إلى الباحات السمعية في الفص الصدغي من القشرة المخية.

- الجسم الركبي الجانبي Lateral Geniculate Body: يعد الجسم الركبي الجانبي محطة على الطريق البصري، فهو يقوم بتحويل المعلومات البصرية القادمة من شبكية العين إلى الفص القفوي من القشرة المخية.

ب- النوى الداخليةIntrinsic Nucleus: هي مجموعة النوى ترد إليها أليافٌ قادمة من أقسام مختلفة ضمن المهاد نفسه.

2- **المهاد الأمامي:Anterior Thalamus:**

وهو عبارة عن مجموعة من النوى الشبكية، تصلها ألياف قادمة من التشكيل الشبكي الموجود في جذع الدماغ، ويصدر عنها ألياف تصعد إلى جميع أجزاء القشرة المخية. وتسمى هذه النوى بالنوى اللا نوعية، لأن الألياف الواردة من التشكيل الشبكي عبر هذه النوى تؤدي إلى تفعيل القشرة المخية بكاملها.

أما وظيفياً، يعد المهادان البصريان محطة على الطريق الحسي الصاعد، بدليل أن التخريب لأحد المهادين البصرين يؤدي إلى وقف جميع أشكال الحس في الجانب المقابل من الجسم، وهذا ما يسمى بالخدر نصف المتصالب. إضافة إلى ذلك يعد المهادان البصريان مركزاً لردود الفعل العاطفية والتي تتشكل دون تدخل القشرة المخية. بدليل أن الحيوانات الراقية تعبر عن عواطفها بنوعين من الاستجابات:

أ- استجابات حركية تعبيرية: وتظهر في عضلات الوجه عند الإنسان والقرد، بحيث يتميز كل نوع من العواطف بتعبير معين خاص مثل الأسى والحزن والغضب.

ب-استجابات حشوية: وتظهر إما على شكل استجابات محركة وعائية كاحمرار الوجه، أو غدية كذرف الدموع وتصبب العرق، أو استجابات محركة عضلية حشوية كتوقف حركات الأمعاء واسترخاء المصرات.

وللتأكيد على أن جميع الاستجابات السابقة تظهر بدون تدخل القشرة المخية وأنها أفعال انعكاسية لا إرادية مركزها المهاد البصري، الطفل المولود حديثاً تكون القشرة المخية عنده غير مكتملة النمو، ومع ذلك تظهر لديه ردود الفعل العاطفية الفطرية، كاهتزازه طرباً عند السرور وانكماش أساريره عند الغضب. وأيضاً فقدان الذكاء وبقاء ردود الفعل العاطفية عند استئصال القشرة المخية وبقاء المهادين البصرين سالمين عند الكلب. أي أن

الكلب المهادي عند إساءة معاملته كانت تظهر عليه علامات الغضب (مثل صك الأسنان وانتصاب الأشعار)، في حين كانت تظهر عليه علامات الرضى (كاهتزاز ذنبه) عند ملاطفته، علماً أن هذه المنعكسات قد اختفت تماماً بعد تخريب المهادين البصرين.

ب- الوطاء The Hypothalamus

يتوضع أسفل المهاد البصري ويشكل قاعدة المخ، وهو عبارة عن قاع وجوانب البطين الثالث. يظهر في مركز الوطاء وعلى الناحية البطنية بروزا بشكل القمع هو الحدبة الرمادية Tuber cinereous، وعلى جانبيه يوجد الجسمين الحلميين Corpusmamillary، (الشكل رقم 136). ويرتبط الوطاء بالغدة النخامية عن طريق الساق النخامية.

ويحتوي الوطاء على العديد من النوى العصبية الموزعة في أربع مجموعات:

1- النوى الأمامية: هي النوى الموجودة فوق التصالب البصري وتشمل النواة قبل البصرية والنواة فوق البصرية والنواة قرب بطنية.

2- النوى المتوسطة: هي النوى الموجودة في مستوى الحدبة الرمادية وتشمل النواة الظهرية الوسطى والنواة البطنية الوسطى والنواة الجانبية الوسطى.

3 – النوى الخلفية: هي النوى التي تقع في مستوى الجسمين الحلميين وتشمل على النوى الجانبية الخلفية.

4 – المادة الشبكية الوطائية وتضم النوى المحيطية بالبطين الثالث، وهي استمرار للمادة الشبكية في جذع الدماغ.

يرتبط الوطاء مع كل أجزاء الجملة العصبية المركزية، حيث تصل إليه الدفعات العصبية الواردة من المهاد البصري والقشرة المخية، في حين يصدر عنه دفعات عصبية إلى المهاد البصري والغدة النخامية. كما يصدر عن الوطاء ألياف تنزل إلى جذع الدماغ والنخاع الشوكي منتهية إلى الخلايا التي تشكل محاورها الألياف قبل العقدية للجملة العصبية الإعاشية. لذلك الوطاء عبارة عن حلقة متوسطة بين المهاد البصري والقشرة المخية من جهة، وبين الجملة العصبية الإعاشية من جهة ثانية.



الشكل رقم (136) الوطاء

وظيفياً، يقوم الوطاء بوظائف عديدة أهمها:

أ- الإشراف على الوظائف الإعاشية:

إن تنبيه منطقة الوطاء الأمامية يؤدي إلى استجابات من نمط نظير ودي، تتظاهر بتقلص المثانة وتوسع الأوعية الدموية السطحية، وتقبض الحدقة وزيادة حركية الأمعاء. بينما تنبيه منطقة الوطاء الخلفية يؤدي إلى استجابات من نمط ودي، تتظاهر بتوسيع الحدقة وارتفاع الضغط الشرياني وانتصاب الأشعار.

أما تنبيه منطقة الوطاء الجانبية الخلفية فأدى إلى توسع أوعية العضلات الهيكلية من جهة، وتضيق أوعية الجلد والمثانة من جهة أخرى. الأمر الذي يهدف إلى وضع الوظيفة الدورانية في خدمة العضلات الهيكلية في أثناء القيام بالأعمال المجهدة.

ب – الوطاء والنوم:

إن تنبيه منطقة الوطاء الخلفية يؤدي إلى زيادة اليقظة، بينما تخريبها يؤدي إلى فرط النوم، في حين يؤدي تنبيه منطقة الوطاء الأمامية إلى توليد النوم، ويؤدي تخريبها إلى قلة النوم (الأرق).

ج- تنظيم عمليتي الجوع والشبع:

إن تنبيه النواة الجانبية الوسطى يسبب شعوراً بالجوع، لذلك فهي مركز الجوع Feeding Center، بينما يؤدي تنبيه النواة البطنية الوسطى Ventromedial.N إلى التوقف عن الأكل، لذلك فهي مركز الشبع. Satiety Center

د- تنظيم شرب الماء:

الحقن الموضعي بمحلول عالي التركيز من كلور الصوديوم في منطقة الوطاء الأمامية (النواة فوق البصرية) أدى إلى زيادة شرب الماء من قبل الأغنام. كما يؤدي التخريب الثنائي الجانب للنواة فوق البصرية إلى الامتناع عن شرب الماء.

هـ- تنظيم إفراز الهرمونات:

1- علاقة الوطاء بالفص الخلفي للغدة النخامية:

يتصل الوطاء عبر نواتيه فوق البصرية وقرب البطنية مع الفص الخلفي للغدة النخامية وذلك بوساطة حزم من المحاور.

يقوم الوطاء من خلال النواة فوق البصرية بإفراز الهرمون المضاد للإبالة ADH الذي ينتقل عبر الاتصال العصبي إلى الفص الخلفي للغدة النخامية حيث يخزن هناك ويتم تحريره عند الحاجة. وظيفة الهرمون المضاد للإبالة إعادة امتصاص الماء من الرشاحة البولية وتشكيل بول مركز. ومن جهة أخرى يقوم الوطاء من خلال النواة قرب البطنية بإفراز هرمون الأوكسيتوسين الذي ينتقل عبر الاتصال العصبي إلى الفص الخلفي للغدة النخامية ويخزن فيها. وظيفة الأوكسيتوسين أنه يزيد من تقلص الرحم وتقلص الخلايا العضلية المحيطة بأسناخ الثديين مما يؤدي إلى إفراغ الحليب منها عبر الحلمتين. وأيضاً في نهاية الحمل يفرز الأوكسيتوسين بكميات كبيرة مما يساعد على الزيادة في تقلصات الرحم من أجل عملية الولادة.

2- علاقة الوطاء مع الفص الأمامي للغدة النخامية:

يتصل الوطاء عبر مجموعة النوى المتوسطة مع الفص الأمامي للغدة النخامية وذلك عن طريق الجملة الدموية البابية التي تربطهما. يؤدي التنبيه الكهربائي لنوى الوطاء المتوسطة إلى تحرير الهرمونات الوطائية التي تنتقل عبر الأوعية الوطائية النخامية إلى النخامة الأمامية وتؤثر فيها.

و- تنظيم درجة الحرارة:

يؤدي تنبيه منطقة الوطاء الخلفية إلى زيادة الانتاج الحراري وزيادة الفعالية الودية الممثلة بزيادة ضربات القلب، وتضيق الأوعية الدموية، وحدوث الرجفة العضلية. بدليل أن تخريب المنطقة الخلفية للوطاء يؤدي إلى عدم استجابة الحيوان لانخفاض درجات الحرارة. بينما يؤدي تنبيه منطقة الوطاء الأمامية إلى زيادة فعالية الجملة نظيرة الودية والتي تتمثل بالتعرق، وتوسع الأوعية الدموية السطحية، وتباطؤ في الفعالية العضلية والميل إلى النعاس، الأمر الذي يخلص الجسم من الحرارة الزائدة ويعيد التوازن الحراري إلى وضعه الطبيعي. بدليل أن تخريب المنطقة الأمامية للوطاء يعدم ردود الفعل الجسمية والذاتية الخاصة بالتعرق والتوسع الوعائي عندما يتعرض الإنسان لدرجة حرارة مرتفعة في الوسط الذي يعيش فيه.

ز- الوطاء والسلوك الجنسي:

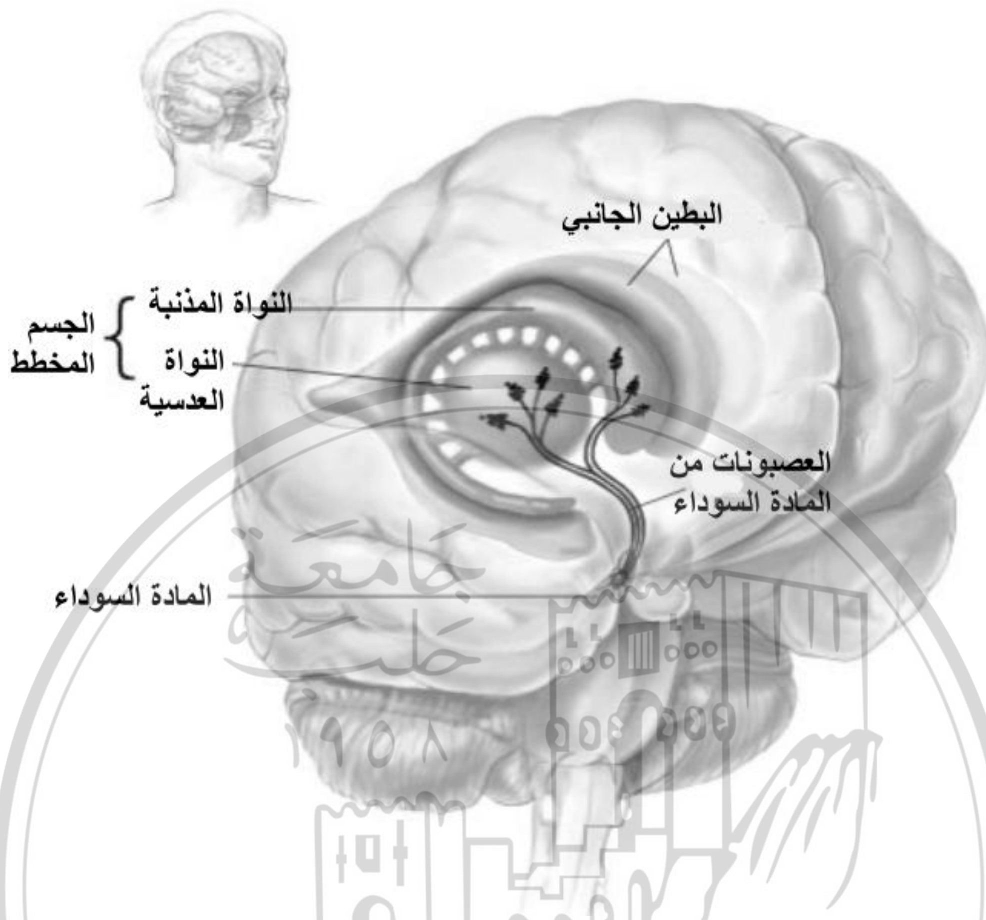
إن إلحاق الأذى في المنقطة الأمامية للوطاء يؤدي إلى انعدام مظاهر السلوك الجنسي عند القطة.

كل ما سبق يدل على أن الوطاء مركز مهم يشرف على جميع الفعاليات الأساسية للكائن الحي فهو يساهم في الحفاظ على استمرار الفرد في حياته من خلال إشرافه على المفرزات الغدية وعلى الجملة الإعاشية الموجودة في جذع الدماغ.

جـ النوى القاعدية The Basal nucleus:

النوى القاعدية عبارة عن مجموعة من النوى العصبية تحت القشرية تقع على الجانب الوحشي من المهاد البصري ويمكن تجميعها بنواتين موضوعتين بعمق المادة البيضاء في البطينات الجانبية لنصف الكرة المخية، وهذه النوى هي:

- النواة المذنبة .Caudate Nucleus
- النواة العدسية Lentiform Nucleus: تتألف هذه النواة من جزأين، الأتبة أو القلنسوة Putamen في الجانب الوحشي، والكرة الشاحبة Globus Palladium في الجانب الإنسي، (الشكل رقم 137).



الشكل رقم (137): النوى القاعدية

يوجد بين النواة العدسية والنواة المذنبة عصابة من المادة البيضاء تسمى المحفظة الداخلية (هي الألياف الحسية كلها والحركية التي تصل القشرة المخية بالنخاع وبالعكس). يطلق على النواة العدسية والنواة المذنبة والمحفظة الداخلية اسم الجسم المخطط Corpus Striatum. ويرتبط الجسمان المخططان ببعضهما البعض بواسطة الملتقى الأبيض.

النوى القاعدية هي جملة محركة إضافية لا تعمل بمفردها وإنما بارتباط وثيق بالقشرة المخية المحركة. تلعب النوى القاعدية دوراً في تنظيم الحركات الأساسية التي توصف بالحركات الألية كحركة الأيدي أثناء المشي من جهة، ومساهمتها في انجاز الحركات الدقيقة مثل الكتابة وتذكر الحركات التي يجب اداؤها في كل ظرف من جهة أخرى.

ومن أجل تحديد وظائف النوى القاعدية لجأ الباحثون إلى تجارب القطع التجريبي للمحور العصبي تحت وقبل مستوى المهاد البصري. فتجارب القطع تحت مستوى المهاد البصري كانت مصحوبة بعدم قدرة الحيوان على الانتصاب على أطرافه الأربعة، بينما

عمليات القطع قبل مستوى المهاد البصري كانت غير مصحوبة باضطرابات توازنيه، وبقي الحيوان قادر على الانتصاب على أطرافه الأربعة. هذا إن دل على شيء فإنما يدل على مساهمة النوى القاعدية في المحافظة على التوازن والحركات التلقائية والانتقال.

وقد أشارت المعطيات السريرية لدى الإنسان أن أفات النوى القاعدية تؤدي إلى اضطرابات حركية مختلفة تختلف باختلاف المنطقة المصابة من النوى القاعدية، فمثلاً إصابة الكرة الشاحبة تؤدي إلى حركات تشنجية فاتله تتضمن الحركات اللاإرادية التي تخص مفاصل الأطراف العلوية والعنق والوجه، بينما إصابة النواة المذنبة تؤدي إلى اضطرابات حركية نافضة Flicking Movement في اليدين والوجه وأجزاء أخرى من الجسم. أما إصابة المادة السوداء فتؤدي إلى صمل ورعاش اهتزازي لا إرادي أو ما يدعى بداء باركينسون Parkinson's Disease.

د ـ نصفي الكرة المخية Cerebral Hemispheres:

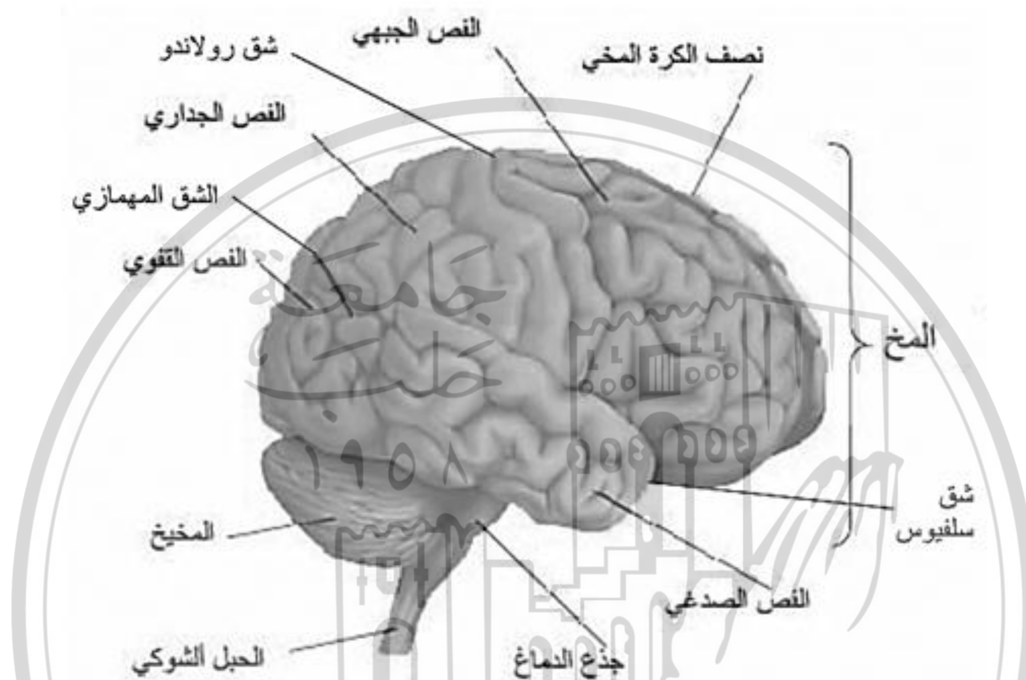
تشكل نصفي الكرة المخية القسم الأكبر حجماً من المخ. ترتبط نصفي الكرة المخية بوساطة جسرين من المادة البيضاء هما الجسم الثفني Corpus Collusum بالأعلى ومثلث المخ Trigone بالأسفل. وبين هذين الجسرين وفي المستوى المتوسط السهمي يتوضع الحاجز Septum. ويوجد بداخل كل نصف كرة مخية بطين جانبي. يتكون كل نصف كرة مخية من مادة بيضاء في الداخل محاطة خارجيا بمادة رمادية تعرف بالقشرة المخية Cerebral Cortex.

تتكون القشرة المخية من طبقة مستمرة من المادة الرمادية التي تلتف من حين لآخر لتشكل التلافيف، وذلك لتزيد من اتساع سطحها بالنسبة لاتساع حزم المادة البيضاء التي تحدها. يطلق على أعمق التلافيف اسم الشقوق Fissures، ونميز في كل نصف كرة مخية ثلاثة شقوق تقسها إلى أربعة فصوص، (الشكل رقم 138):

1 – شق سلفيوس Sylvain Fissure (الشق الجانبي Lateral Fissure): الذي يفصل بقاعدته الفص الجبهي Frontal Lobe عن الفص الصدغي Temporal Lobe، وبامتداده الخلفي يفصل الفص الجداري Parietal Lobe عن الفص الصدغي Temporal Lobe.

2- شق رولاندو (الشق المركزي Central Fissure): يفصل الفص الجبهي Frontal Lobe عن الفص الجداري Parietal Lobe.

3 - الشق المهمازي (القائم): يفصل الفص القفوي Occipital Lobe عن الفص الجداري والفص الصدغي.



الشكل رقم (138): فصوص وتلافيف نصف الكرة المخية الأيسر

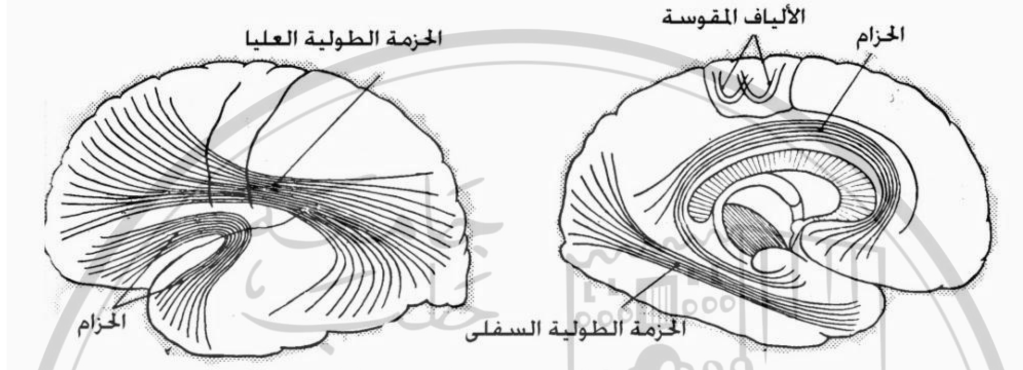
تقوم كل نصف كرة مخية بتلقي المعلومات الحسية ومعظمها تأتي من الجهة المعاكسة كما أنها تنظم حركات الجسم في الجهة المعاكسة.

وهناك بعض الاختلافات بين نصفي الكرة المخية، فمثلا يشرف نصف الكرة المخية الأيسر على الكلام بشكل أساسي، بينما يقوم النصف الأيمن بالسيطرة على التعابير العاطفية، وأيضا يكون الجسم الثفني عند الإناث أكبر منه عند الذكور لذلك تكون الأنثى أكثر قدرة على التنسيق بين تعابير الوجه والكلام معاً.

أما بالنسبة للمادة البيضاء فيمكننا تميز ثلاث أنواع من الألياف العصبية:

أ- ألياف ارتساميه Projection FiFbers: تصل بين مركز محدد في القشرة المخية وبين مركز أخر في المحور الدماغي الشوكي، كالحزمة الهرمية والحزمة الشوكية المهادية.

ب- ألياف ترابطية Association Fibers: تصل بين مناطق مختلفة من نصف الكرة المخية الواحدة. وتكون إما ألياف قصيرة تصل بين تلفيفين متجاورين مثل الألياف المقوسة أو ألياف طويلة تصل بين فصين متجاورين لنصف الكرة المخية ذاتها، مثل الحزمة الطولية العليا التي تربط مناطق القشرة الجبهية والقفوية والصدغية ببعضها، (الشكل رقم 139).



الشكل رقم (139): الألياف الارتباطية

ج- ألياف التقائية Commissure Fibers: تصل بين المناطق المتناظرة من نصفي الكرة المخية مشكلة بذلك ما يشبه الجسور مثل: الجسم الثفني Corpuscollusum ومثلث المخ Trigone.

وظيفياً، تعد القشرة المخية مقر الإحساسات الواعية ومبعث السيالات الخاصة الإرادية، وأنها المكان المتخصص لتكوين ونماء علاقات الذكاء من أدنى المظاهر النفسية وحتى أعلى الملكات الذهنية.

1- الباحات القشرية المخية:

بفضل الدراسات التجريبية (تخريب، تنبيه) قسمت القشرة المخية إلى: قشرة حركية، وقشرة حسية.

أ - القشرة الحركية Motor cortex:

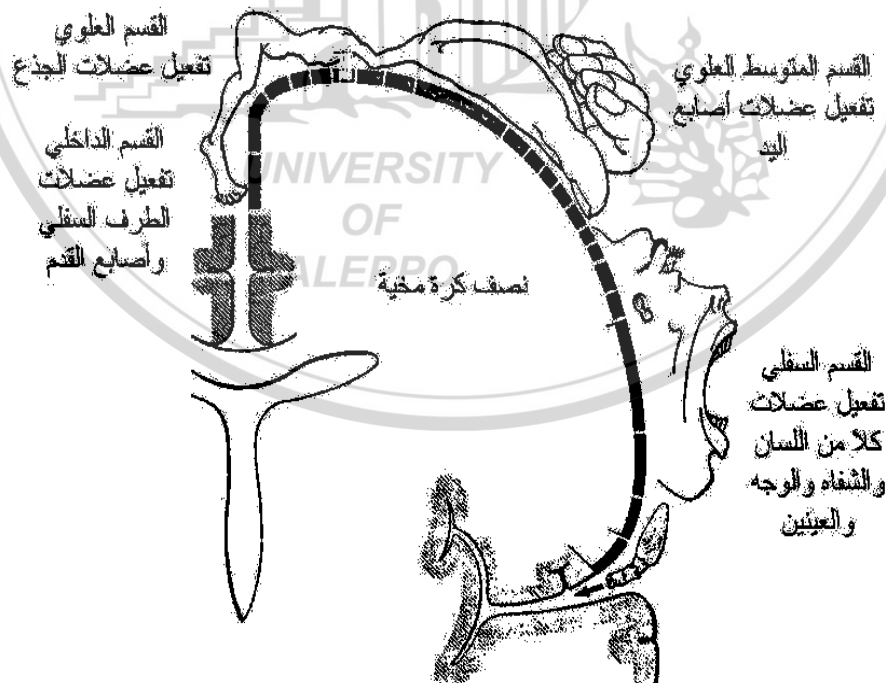
تقسم القشرة الحركية إلى ثلاث باحات منفصلة:

1- الباحات الحركية الأولية Primary Motor Ccortex: تتوضع هذه الباحات في الفص الجبهي أمام شق رولاندو والتي تشكل محاورها الارتسامية الحزمة الهرمية.

تشرف الباحات المحركة الأولية على التقلص العضلي، ويمكن القول إن الجملة العضلية بأكملها ترتسم على التلفيف الجبهي الصاعد، ولكن مساحة كل مركز محرك لا يعتمد على كتلة العضلات التي تتحكم بها، وإنما على دقة وأهمية الحركات التي تنفذها تلك العضلات، لهذا نجد أن عضلات الوجه واليدين عند الإنسان تشغلان قسماً كبيراً من تلك الباحة المحركة، (الشكل رقم 140). ولدى التخريب الدقيق لهذه الباحة وجد أنها مسؤولة عن الحركات العضلية في نصف الجسم المقابل.

2- الباحات أمام الحركية Premotor Area: تتوضع هذه الباحات أمام الباحات الحركية الأولية وتمتد نحو الأسفل إلى شق سلفيوس ونحو الأعلى إلى الشق الطولاني وتجاور بذلك الباحات المكملة. وتؤدي معظم الإشارات العصبية المتولدة في الباحات أمام الحركية إلى ظهور أنماط حركية تشمل مجموعات عضلية تنجز مهام نوعية مثل تثبيت المنكبين والذراعين بوضعية تجعل اليدين باتجاه ملائم لإنجاز مهمة معينة.

3- الباحات الحركية المكملة Supplemental Motor Area: تتوضع أعلى الباحات أمام الحركية وأمامها مباشرة، مستقرة في الشق الطولاني. تتصف هذه الباحة بتنظيم الوظيفة الحركية.

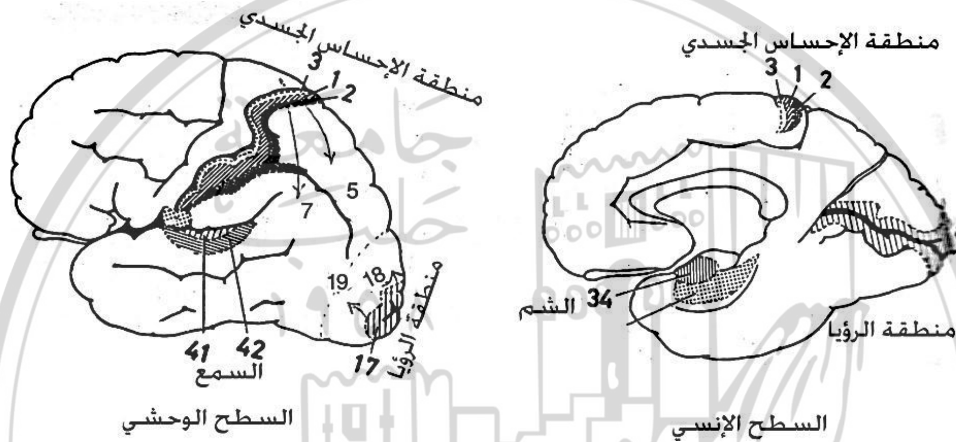


شكل رقم (140): الباحات المحركة ودرجة تمثيل مختلف عضلات الجسم في نصف الكرة المخية

ب- القشرة الحسية Sensory Cortex:

بفضل تطور الأساليب التقنية في البحث العلمي استطاع العلماء تمييز الباحات القشرية الحسية التالية:

1- باحات الحس الجسمي Somatic Sensory Area: تتوضع باحات الحس الجسدي في الفص الجداري خلف شق رولاندو، (الشكل رقم 141). تتلقى هذه الباحات ألياف ارتساميه من النوى البطنية الخلفية في المهاد البصري.

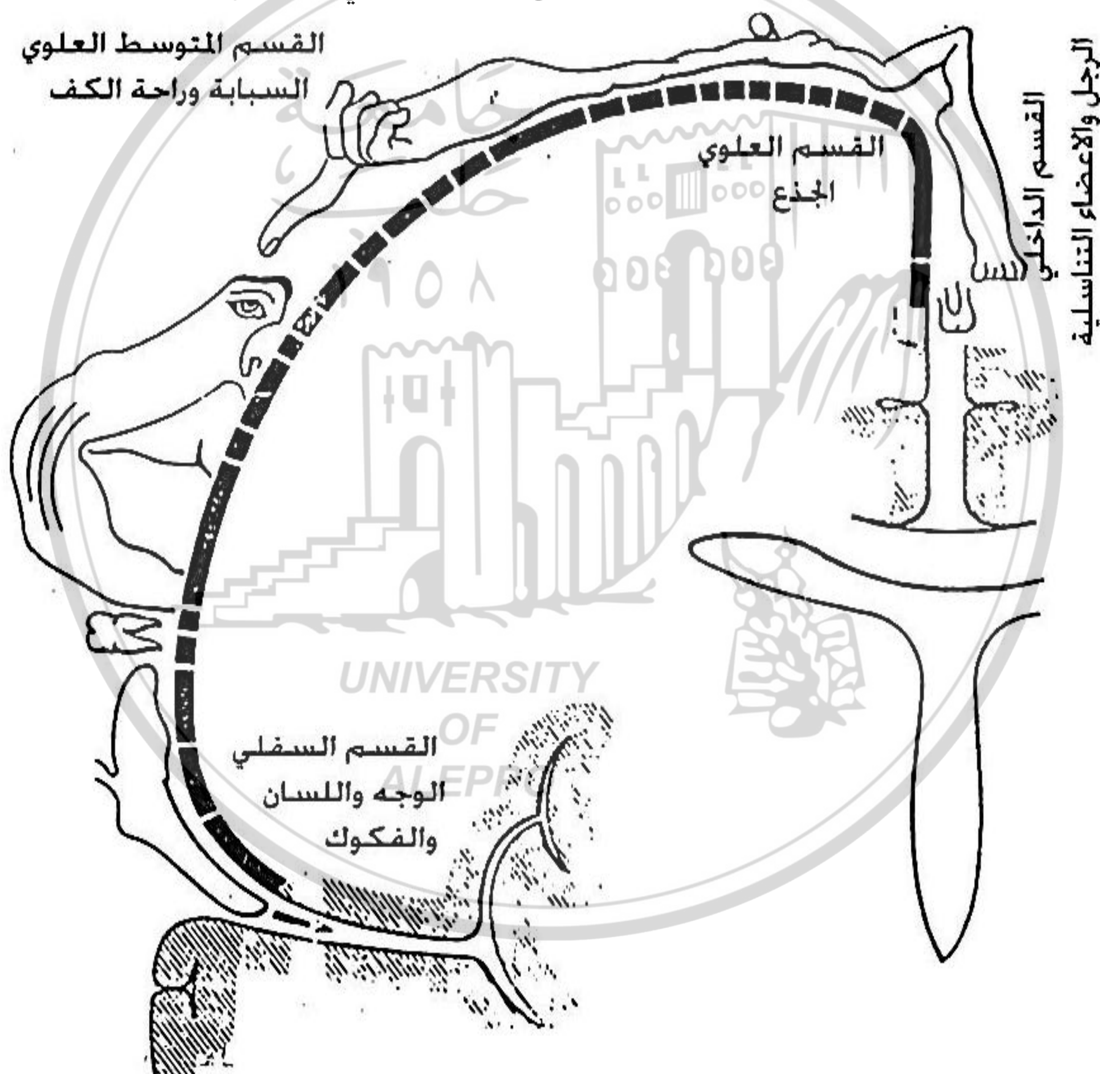


الشكل رقم (141): باحات الحس الأولية والثانوية

إن تخريب باحات الحس الجسدي يؤدي إلى الخدر في نصف الجسم المقابل لمنطقة التخريب. هذا ويرتسم نصف الجسم بأكمله على الباحة الحسية الواقعة في الجهة المقابلة. وإذا ما تتبعنا التلفيف الجداري الصاعد من الأسفل إلى الأعلى نصادف أماكن ارتسام اللسان فالرأس فالطرف العلوي فالجذع ثم الطرف السفلي. كما تجدر الملاحظة هنا أن امتداد الباحة القشرية الحسية الجسدية الأولية يعتمد على درجة حساسية كل عضو. وهكذا يشغل اللسان والوجه واليد باحات واسعة نسبياً من المركز الحسي، (الشكل رقم 142).

كما يوجد خلف الباحات الجسدية الأولية باحة الترابط الجسدي، والتي تلعب دوراً في فهم المعلومات الواردة إلى باحة الإحساس الجسدي. فالدفعات العصبية الحسية الجسمية الواصلة إلى الباحات الأولية يجري تحويلها إلى باحات الترابط الجسدي، فيدرك الشخص على أساسها الصلابة والخشونة والبرودة، وبناءً على ذلك يتم تقدير حجم الشيء ووزنه باللمس. لذلك تدعى هذه الباحات مقر تكامل المعلومات التي تسمح عن طريق

اللمس بتعيين الشيء وتعريفه. بدليل إن استئصال باحة الترابط الجسدي يفقد الشخص القدرة على تميز الأشياء المعقدة رغم شعوره بها، فالمريض المصاب بهذه العلة لا يستطيع معرفة الشيء الموضوع في يده المقابلة للباحة المقطوعة إذا كان ذلك الشخص معصوب العينين، فهو صحيح يملك إحساسات أولية تدل على وجود شيء في يده ولكنه لا يقدر على تركيب هذه الإحساسات اللمسية الأولية للوصول إلى تعيين الشيء ومعرفته. والأغرب من ذلك نسيان الشخص للجانب المقابل من جسمه، فهو ينسى أنه يستخدم الشق الآخر بالوظائف الحركية، وهذا ما يسمى بالعمه اللمسي Tatile Agnosia.



شكل رقم (142): الباحات الحسية ودرجة تمثيل أعضاء الاستقبال الجسمي

2- باحات الحس البصري Visual Areas: تتوضع القشرة الإبصارية في الفص القفوي، وتقسم القشرة الإبصارية إلى باحة حس أولي Primary تتلقى أليافاً ارتساميه من الجسم

الركبي المتوسط، وباحات إدراك حسي Secondary Visual Areas تتلقى أليافاً ارتساميه من الوسادة في المهاد البصري، حيث يتم التعبير عن تلك الإحساسات في معلومات ذات مدلول عن طبيعة الشيء المنظور. وترتسم الشبكية نقطة فنقطة على الباحة الأولية، ولكن القطاع القشري الموافق للطخة الصفراء يكون واسع الامتداد نسبياً، الأمر الذي يعطي للصورة الواقعة على هذه البقعة رؤية أدق تفصيلاً.

الإشارات البصرية الأولية تصل أولاً إلى الباحات الأولية ومنها إلى باحات الإدراك الحسي لتخضع للمزيد من تحليل المعاني الإبصارية. بدليل أن تخريب باحة الإدراك الحسي يسبب العمه البصري Visual Agnosia، فالمريض بهذه العلة يملك أحاسيس بصرية أولية لكنه لا يستطيع مكاملتها في إدراك كلي ليتعرف من خلالها على الأشياء التي كانت مصدر تلك الأحاسيس، فهو يرى تفاحة بكل صفاتها البصرية، لكنه لا يتعرفها فاكهة تؤكل، بينما تخريب باحات الحس الأولي يؤدي إلى العمى الكلي.

3- باحات الحس السمعي Acoustic Areas: تقع في الفص الصدغي وتقسم إلى باحات سمعية أولية تتلقى أليافاً ارتساميه من الجسم الركبي الجانبي وباحات إدراك سمعي تتلقى أليافاً ارتباطية من باحات السمع الأولية. يرتسم قسم من الألياف الواردة من القوقعة والخاص بالأصوات ذات التواتر المرتفع في الناحية الخلفية من الباحة الأولية، في حين يرتسم القسم الأخر من الألياف الواردة من القوقعة والخاص بالأصوات ذات التواتر المنخفض في الناحية الأمامية لهذه الباحة. علماً أن باحة السمع الأولية تتلقى السيالة العصبية القادمة من مستقبلات السمع في الأذن الداخلية من كلتا الأذنين، بدليل أن الأذى أحادي الجانب للباحة السمعية الأولية لا يؤدي إلى الطرش في إحدى الأذنين وإنما يضعف حاسة السمع، في حين يسبب التخريب الكلي للباحة السمعية الأولية في نصفي الكرة المخية الطرش الكلي عند الإنسان. تقوم باحة السمع الأولية بتسجيل الأصوات بحذافيرها وصفاتها التفصيلية المختلفة دونما تأويل لمعانيها، الأمر الذي يتم في باحات الإدراك السمعي، بدليل أن تخريب باحة الإدراك السمعي يؤدي إلى العمه السمعي Acoustic Agnosia، فالمريض بهذه العلة لا تزال باحة السمع الأولية عنده نشطة والسمع حاصل ولكن المريض لا يفهم ماذا تعني هذه الأصوات.

4- باحات الحس الشمي Olfactory Areas: تقع باحات الشم في الدماغ الشمي، الذي يتوضع على الوجه الداخلي لنصفي الكرة المخية. وتقسم باحات الشم إلى باحات شم أولية وباحات إدراك شمي. وتتمثل الباحات الشمية الأولية عند الإنسان بتلفيف الحصين والقسم الأمامي من التلفيف الصدغي. أما باحات الإدراك الشمي فترتبط بالجهاز الحوفي وتقع في القشرة الحجاجية الجبهية.

تنقل المعلومات الشمية إلى البصلة الشمية Olfactory Bulb أولى محطات الوصل والتحويل في طريق المسلك الشمي القادم من الظهارة الشمية في الحفرتين الأنفيتين إلى باحات الشم الأولية ومنها إلى باحة الإدراك المسؤولة عن تفضيل الشخص لأنواع أطعمة معينة، أو النفور من أطعمة أخرى. بدليل أن تخريب باحات الإدراك الواعي للشم يؤدي إلى العمه الشميOlfactory Agnosia. فالمريض بهذه العلة لا تزال الباحات الشمية الأولية عنده نشطة والشم حاصل ولكن المريض غير قادر على التنظيم التلقائي للأطعمة المتناولة ورفض السموم والأطعمة الفاسدة.

5- باحات التذوق Taste Areas: تتوضع باحة التذوق في الفص الجداري قريباً من باحات الحس الجسدي. تستقبل هذه الباحات المعلومات الذوقية الواردة من الحليمات الذوقية في اللسان عن طريق ألياف الحس الذوقي (العصب الوجهي والبلعومي اللساني). بدليل أن تخريب هذه الباحات يؤدي إلى انعدام الإحساسات الذوقية.

2- **الذاكرة Memory**:

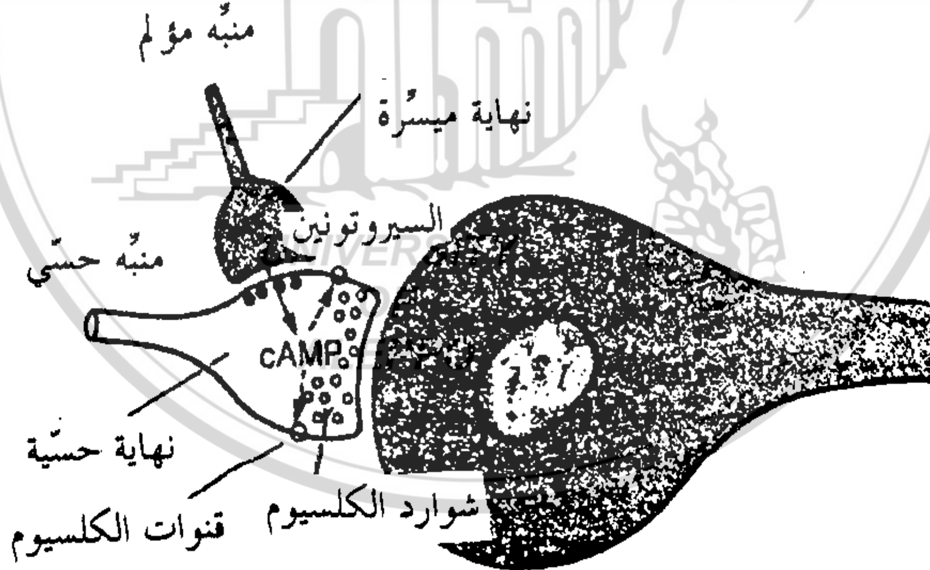
إن مرور الإنسان بخبرة أو بمجموعة من الخبرات العلمية وتكرارها وتدعيمها بشكل إيجابي، يؤدي إلى حدوث تغيرات عصبية في الدماغ تبدو على شكل ارتباطات عصبية، بدليل وكما يشير العلماء إلى أن التعلم يعتمد أساساً على تطور وتغير في الاتصالات العصبية في الدماغ.

وتعرف الذاكرة بأنها عملية تخزين الخبرات السابقة في الحصين لاسترجاعها فيما بعد، إذ تخزن المعلومات على شكل رموز وعلى مراحل. وتحدث الذاكرة من الناحية الفيزيولوجية نتيجة لتغيرات في قدرة النقل المشبكي من عصبون إلى الذي يليه بسبب تفعيل عصبي سابق. وتؤدي هذه التغيرات بدورها إلى ظهور سبل جديدة لنقل الإشارات

عبر الدارات العصبية الدماغية. هذه السبل مهمة لأنها حالما تتوطد فإنه يمكن تفعيلها بالتفكير العقلي إلى استعادة الذكريات. وللذاكرة ثلاثة أنواع:

أ- الذاكرة الآنية أو العاجلة Immediate Memory: تضم الذكريات التي تدوم ثواني أو دقائق، وتدوم ما دام الشخص يفكر بها. وهذه الذاكرة تمكن الشخص من حفظ رقم تلفون صديق بعد الرجوع إلى دليل الهاتف ونسيانه بعد أن يقوم بالمكالمة. وهذه الذاكرة تنجم عن الفعالية العصبية المستمرة التي تحدثها الدفعات العصبية إثر ذاكرة مؤقت عبر دارة من العصبونات الارتدادية. ويمكن أن ينتج هذا الفعل عن تراكم كميات كبيرة من الكالسيوم في النهايات قبل المشبكية، الأمر الذي يسبب تحرر الأستيل كولين في المشبك لفترة طويلة.

ب-الذاكرة قصيرة الأمد Short-term Memory: تدوم الذكريات القصيرة الأمد عدة دقائق أو أسابيع ولكنها تزول في نهاية المطاف. ينتج هذا الفعل بسبب تغيرات كيميائية أو فيزيائية في النهايات قبل المشبك أو في الأغشية بعد المشبك، (الشكل رقم 143).



الشكل رقم (143): آلية الذاكرة

ونرى من هذا الشكل نهايتين قبل المشبك منفصلتين، الأولى قادمة من عصبون حسي وتنتهي على سطح العصبون الذي سيجري تنبيهه وتدعى النهاية الحسية، أما الثانية فهي تتوضع على سطح النهاية الحسية وتدعى النهاية الميسرة. عندما يجري تنبيه

النهاية الحسية على نحو متكرر من دون تنبيه النهاية الميسرة يكون نقل الإشارات هائلاً في بداية الأمر، ثم تتخافت مع تكرار التنبيه وتدعى هذه الظاهرة الاعتياد الذي يمثل نمطاً من الذاكرة يفقد الدارة العصبونية استجابتها للحوادث المتكررة التي لا أهمية لها.

ولكن إذا أثار منبه مؤذ النهاية الميسرة مع تنبيه النهاية الحسية في الوقت نفسه يصبح النقل أقوى وأسهل، وقد يستمر ثلاثة أسابيع حتى وإن لم يجر تنبيه النهاية الميسرة من جديد. وهكذا فإن المنبه المؤذي يجعل أثر الذاكرة ميسراً لمدة أسابيع بعد انتهائه.

وعلى المستوى الجزيئي ينجم فعل الاعتياد في النهاية الحسية عن انغلاق قنوات الكالسيوم في غشاء النهاية قبل المشبك. أما في حالة التيسير فيعتقد أن الآلية الجزيئية على النحو التالي:

1- إن تنبيه العصبون الميسر في الوقت نفسه الذي ينبه فيه العصبون الحسي، يؤدي إلى تحرر السيروتونين عند المشبك الميسر على النهاية الحسية قبل المشبك.

2- يؤثر السيروتونين في مستقبلات السيروتونين الموجودة في غشاء النهاية الحسية، الأمر الذي ينشط أنزيم أدينيل سيكلاز داخل الغشاء، الذي يعمل على حلمهة ATP ويؤدي ذلك إلى تشكيل الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي داخل النهاية الحسية قبل المشبك.

3- يفعل الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي أنزيم كيناز البروتين، الذي يؤدي إلى فسفرة بروتين يمثل جزء من قنوات البوتاسيوم مانعاً مرور البوتاسيوم لمدة أسابيع.

4- حصر قنوات البوتاسيوم يؤدي إلى تطاول في كمون العمل في النهاية قبل المشبك.

5- تطاول كمون العمل يؤدي إلى تطاول فترة تفعيل قنوات الكالسيوم، الأمر الذي يسمح بدخول كميات هائلة من الكالسيوم إلى النهاية الحسية وتحرير كميات من الاستيل كولين التي تيسر النقل المشبكي، مما يتسبب في حدوث أثر الذاكرة.

ج- الذاكرة طولية الأمد Long- term Memory: هي الذاكرة التي يمكن استرجاعها بعد سنوات من تخزينها. أي يجب أن تثير الذاكرة بطريقة ما تغيرات كيميائية وفيزيائية

وتشريحية في المشابك المسؤولة عن الذاكرة من النمط طويل الأمد. وتتطلب هذه العملية (5-10) دقائق بالنسبة إلى أدنى مستوى من الترسيخ وساعة بالنسبة إلى أقصى مستوى من الترسيخ. فمثلاً إذا تعرض الدماغ إلى انطباع حسي قوي ثم أُتبع ذلك باختلاج دماغي أو خضع لتخدير عام عميق مفاجئ يحصر الفعالية للدماغ مؤقتاً، الأمر الذي يمنع الترسيخ وعندها لا يستطيع الشخص تذكر تلك التجربة الحسية مطلقاً. أما إذا تأخرت الصدمة ساعة عندها فسيكون ترسيخ الذاكرة كاملاً.

ويمكن تفسير عملية الترسيخ والزمن اللازم له اعتماداً على ظاهرة تكرار الذاكرة العاجلة لأن الدماغ يتمتع بميل طبيعي نحو تكرار المعلومات الجديدة.

إن انتقال المعلومات من الذاكرة قصيرة الأمد إلى الذاكرة طويلة الأمد تعتمد على العديد من العوامل:

1- الاعادة: تزداد مقدرتنا على التذكر مع تكرار المعلومات التي نسمعها أو نقرؤها.

2- الحالة الانفعالية: تزداد مقدرتنا على التذكر عندما نكون متيقظين ولدينا الدافع للتعلم.

3-الخبرات والمعرفة الفردية السابقة: يمكن خزن معلومات جديدة واستدعاؤها بسرعة إذا كانت مرتبطة بالمعلومات القديمة للفرد ، أما إذا كانت المعلومات الجديدة مختلفة عن المعلومات القديمة فالمعلومات الجديدة تحل محل المعلومات القديمة مما يزيد من صعوبة استدعاء المعلومات القديمة.

أما النسيان فهو العجز عن استرجاع الذكريات الماضية من مخازن الذاكرة الطولية الأمد رغم أن الشخص يعلم أنها موجودة فيه.

والتفسير المحتمل أن أذية بعض باحات المهاد الصري تؤدي إلى نسيان الماضي، لأن المهاد يلعب دوراً في مساعدة الشخص على البحث في مخازن الذاكرة. لذلك عملية الذاكرة لا تتطلب تخزين المعلومات فقط بل تحتاج إلى القدرة على البحث عنها واكتشافها في وقت لاحق.

الجهاز العصبي الإعاشي (الذاتي)

Automatic Nervous System

أطلق على الجهاز العصبي الإعاشي اسم ذاتي لأن غالبية الأعضاء التي يعصبها تستمر في العمل حتى في حال غيابه. يختص هذا الجهاز بالحركات اللاإرادية حيث يتولى السيطرة على أجهزة العمليات الحيوية كالغدد والقلب والعضلات الملساء التي تدخل في بناء جدار القناة الهضمية والمثانة والقصيبات الهوائية وغيرها. يتألف الجهاز العصبي الإعاشي بنيوياً من مجموعتين من الألياف العصبية. تنشأ المجموعة الأولى من نوى عصبية في الجهاز العصبي المركزي وتنطلق خارجه وصولاً إلى العقد Ganglions، وتدعى الألياف التي تسبق العقد بالألياف قبل العقدية Preganglionic Fibers. بينما تنشأ المجموعة الثانية من العقد وتمتد إلى الأعضاء الداخلية وتدعى الألياف التي تلي العقد بالألياف بعد العقدية Postganglionic Fibers.

يقسم الجهاز الإعاشي إلى قسمين: جهاز عصبي ودي Sympathic يهيئ الجسم للقيام بالأعمال المجهدة، وجهاز عصبي نظير ودي Parasympathic يعمل على الترميم والإصلاح طالما أن الجسم في حالة راحة.

1- الجهاز العصبي الودي Sympathic Nervous System:

تنشأ العصبونات المحركة قبل العقدية من القرون الجانبية للشدفات الصدرية T1-T12 والقطنية L1-L2 والتي يطلق عليها المنطقة الصدرية القطنية. يضم الجهاز الودي كلاً من النوى الودية الموجودة في القرون الجانبية والجذع الودي المزدوج الذي يتوضع على جانبي العمود الفقري، حيث يتكون كل جذع من (23) عقدة ودية موزعة على الشكل التالي:

3 عنقية – 12 صدرية – 4 قطنية – 4 عجزية

تتلقى العقد الودية أليافاً عصبية واردة إليها من النوى الودية المتوضعة في القرون الجانبية للنخاع الشوكي. تنطلق محاور النوى الودية عبر الجذور الأمامية للأعصاب

الصدرية القطنية لتنتهي على أجسام الخلايا الودية الموجودة في العقد الودية المتوضعة على جانب العمود الفقري (العقد العنقية والصدرية والقطنية والعجزية) وأمام العمود الفقري كالعقدة الجوفية Coeliac Ganglion والمساريقية العلوية Mesenteric Superior Ganglion والمساريقية السفلية Mesenteric Inferior Ganglion، وتدعى تلك الألياف بالألياف قبل العقدية، ومن تلك العقد يصدر الليف بعد العقدي باتجاه العضو الهدف. علماً أن الألياف العصبية قبل العقدية الودية قصيرة، بينما الألياف بعد العقدية الودية طويلة.

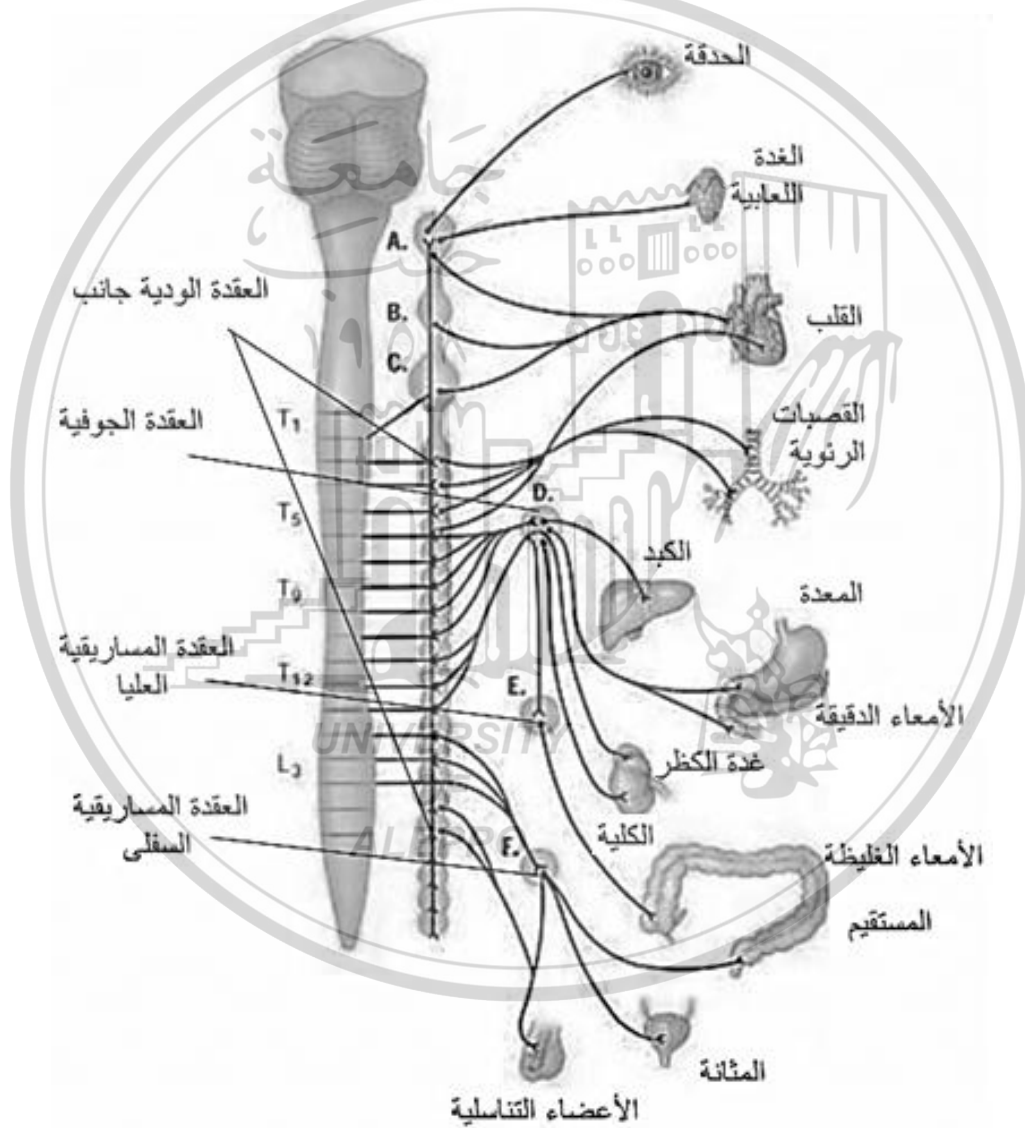
ومن الضروري أن نعلم بأن المحاور قبل العقدية لا تتشابك جميعها في العقد التي تذهب إليها، فمنها ما يتشابك مع عصبون آ خر بعد عقدي في تلك العقدة ومنها ما يعبر العقدة دون تشابك ليتشابك في عقدة أمام فقارية. ويتم في العقدة وأليافها حدوث توزيع وتنسيق للمعلومات القادمة من العصبونات قبل العقدية إلى الأعضاء عبر العصبونات بعد العقدية.

يصدر عن العقدة العنقية العلوية والوسطى مجموعة من الألياف تعصب حدقة العين والغدد الدمعية والغدد المخاطية والغدد اللعابية، بينما يصدر عن العقدة العنقية السفلية والصدرية الأولى ألياف تعصب القلب والشريان السباتي والشريان الرئوي والأبهر.

ويصدر عن العقد الصدرية (من2 حتى5) حزم من الألياف بعد العقدية تعصب كلاً من القصبات والحنجرة والشرايين الصدرية والرئتين ، بينما تعبر الألياف قبل العقدية العقد الودية الصدرية (من 6 وحتى 9) دون تشابك وتجتمع أليافها لتشكيل العصب الحشوي الكبير الذي يخترق الحجاب الحاجز وينتهي إلى العقدة الجوفية Ganglion Coeliac. كما تعبر الألياف بعد العقدية العقد الصدرية الودية الثلاث الأخيرة (من 10 وحتى 12) دون تشابك وتجتمع أليافها بعد العقدية مشكلة العصب الحشوي الصغير الذي يخترق الحجاب الحاجز منتهياً أيضا إلى العقدة الجوفية.

ويصدر عن العقدة الجوفية مجموعتان من الألياف: ألياف تعصب أجزاء جهاز الهضم العلوية وغدة الكظر وألياف ترسل إلى عقدة حشوية تدعى العقدة المساريقية العلوية Mesenteric Superior Ganglion، والتي يصدر عنها مجموعة من الألياف

بعد العقدية تعصب الكلية. أما العقد القطنية فيصدر عنها مجموعة من الألياف تشكل مجتمعة الضفيرة المساريقية التي تنتهي على العقدة المساريقية السفلية Mesenteric Inferior Ganglion. يصدر عن العقدة المساريقية السفلية مجموعة من الألياف بعد العقدية التي تعصب الأمعاء الغليظة والمثانة والحالب والمستقيم، في حين يصدر عن العقد العجزية مجموعة من الألياف تنتهي على عقد موجودة على الأعضاء مباشرة أو قريبة منها، مثل الرحم والأعضاء الجنسية الذكرية، (الشكل رقم 144).



شكل رقم (144): الجهاز الودي والأعضاء المعصبة به

الناقل العصبي في سوية الألياف قبل العقدية الودية هو الأستيل كولين، في حين يكون النورابينفرين الناقل في سوية الألياف بعد العقدية. أما المستقبلات الموجودة على

الأعضاء المستجيبة للجهاز العصبي الودي فهي من نمط مستقبلة أدرينالينية Adrenoreceptors ، وهي نوعان:

1- مستقبلات ألفا: وهي نوعان، ألفا(1) استثارية وتوجد بكثرة في العضلات الملساء المبطنة للأحشاء والأوعية الدموية المحيطية، حيث تؤدي إثارتها إلى تقبض الأوعية الدموية المحيطية وتوسع حدقة العين، وألفا (2) تثبيطيه وتوجد في النهايات قبل المشبكية للجهاز العصبي.

2 - مستقبلات بيتا: وهي نوعان، بيتا (1) استثارية وتوجد على القلب والكلية، وبيتا (2) تثبيطيه في جميع أنحاء الجسم، وتوجد في العضلات الملساء للقصبات الهوائية، والأوعية الدموية للعضلات الهيكلية والرحم والقناة الهضمية والمصرة الخارجية للمثانة والمصرة الخارجية للشرج.

وظيفياً، يعمل الجهاز العصبي الودي على توسيع القصبات الهوائية مما يزيد من حوادث التهوية، وتسريع ضربات القلب مما يزيد من الصبيب القلبي، وتوسيع الشرايين الإكليلية مما يزيد التروية القلبية، وتضيق الأوعية الدموية المحيطية، وتثبيط الحركة التمعجية للأمعاء وتوسيع حدقة العين وتوسيع المثانة.

2- **الجهاز العصبي نظير الودي Parasympathic Nervous System:**

ينشأ الجهاز العصبي نظير الودي من المنطقة القحفية (جذع الدماغ) ومن النخاع الشوكي (القسم العجزي). وهو يتألف من ألياف قبل عقدية نظيرة ودية تصدر عن أجزاء النوى الرمادية للأعصاب القحفية (III-VII-X-IX)، وألياف بعد عقدية نظيرة ودية تنتهي على الأعضاء الداخلية.

وتنتهي الألياف قبل العقدية نظيرة الودية القادمة مع ألياف الأعصاب القحفية في العقد التالية:

أ - العقدة الهدبية Ciliary Ganglion: وتنتهي إليها الألياف قبل العقدية نظيرة الودية المرافقة للعصب القحفي المحرك العيني (الثالث)، وتنطلق منها ألياف بعد عقدية نظيرة ودية إلى القزحية والجسم الهدبي.

ب- العقدة الوتدية الحنكية Spheno-Palatine Ganglion: وينتهي عندها قسم من الألياف قبل العقدية نظيرة الودية المرافقة للعصب الوجهي (السابع)، وتنطلق منها ألياف بعد عقدية نظيرة ودية إلى الغدد المخاطية والغدد الدمعية.

ج- العقدة تحت الفكية Submandibular Ganglion: وينتهي إليها القسم الآخر من الألياف قبل العقدية نظيرة الودية المرافقة للعصب الوجهي، وتنطلق منها ألياف بعد عقدية نظيرة ودية إلى الغدة تحت اللسانية Sublingual Gland والغدة تحت الفكية Submandibular Gland.

ت- العقدة الأذنية Otic ganglion: وتنتهي إليها الألياف قبل العقدية نظيرة الودية المرافقة للعصب البلعومي اللساني(IX)، وتنطلق منها ألياف بعد عقدية نظيرة ودية إلى الغدة النكفية Parotid Gland.

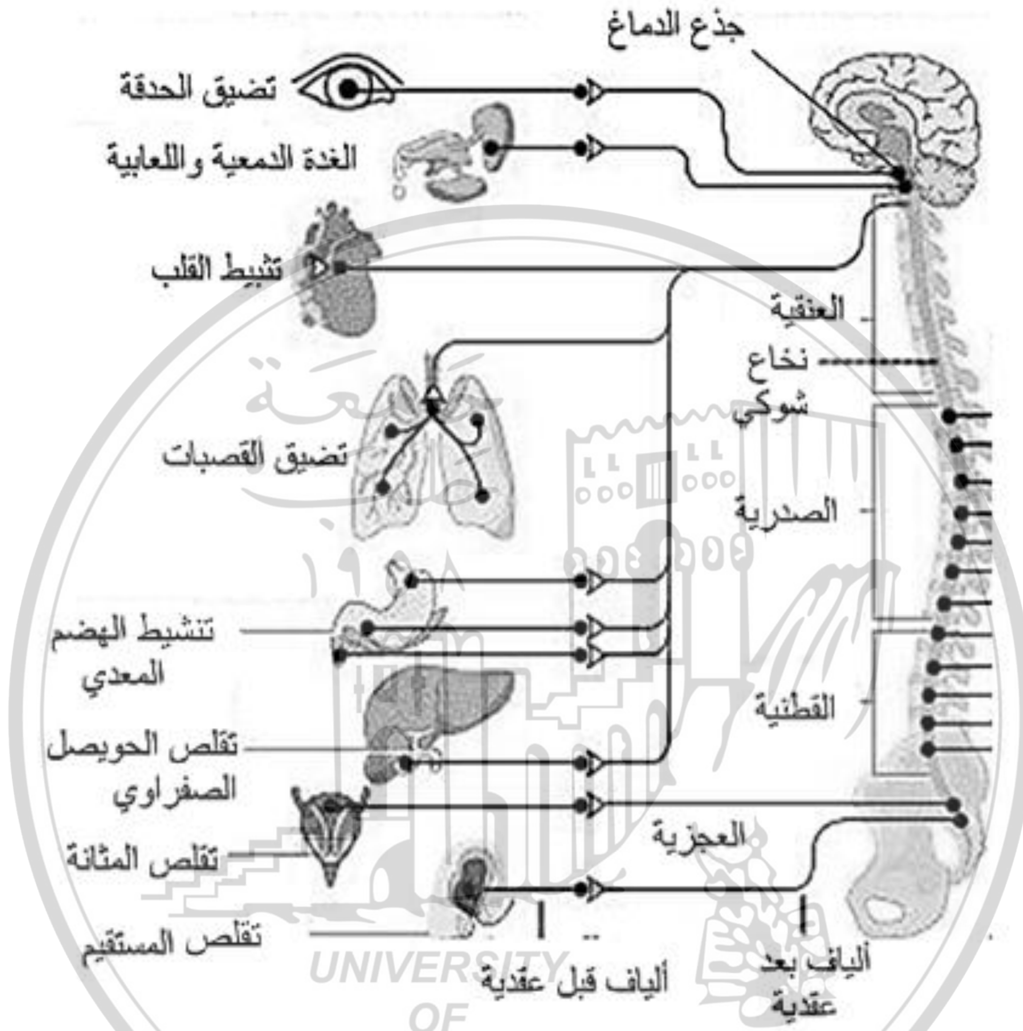
د - أما العصب المبهم والتي تشكل أليافه نسبة 75% من الألياف نظيرة الودية، أليافه قبل العقدية نظيرة الودية تنتهي إلى العقد القريبة من الأعضاء الداخلية الموجودة في الصدر والبطن حتى القسم القريب من الكولونات والقسم العلوي من الحالبين، أي إن أليافه بعد العقدية نظيرة ودية قصيرة وتنتهي على العضو الهدف، (الشكل رقم 145).

من جهة أخرى تنشأ الألياف قبل العقدية نظيرة الودية العجزية من النوى نظيرة الودية للشدفات العجزية (2-4) من النخاع الشوكي عن طريق الجذور الأمامية للأعصاب العجزية الشوكية التي تجتمع أليافها في العصب الحوضي. تنتهي ألياف العصب الحوضي على العقد نظيرة الودية التي تتوضع قرب العضو أو عليه، ومن العقد نظيرة الودية تنطلق الألياف بعد العقدية نظيرة ودية لتعصب كلاً من المثانة والأقسام البعيدة من الكولونات والمستقيم وأسفل الحالبين والأعضاء التناسلية الخارجية.

الناقل العصبي في سوية الألياف قبل العقدية وبعد العقدية نظير الودية هو الأستيل كولين. أما المستقبلات الموجودة على الأعضاء المستجيبة للجهاز العصبي نظير الودي فهي نوعان:

1- المستقبلات المسكارينية: هي الأكثر انتشاراً في الجسم، أغلبها مستقبلات استثارية ما عدا الموجودة على القلب فهي تثبيطيه .

2- المستقبلات النيكوتينية: وهي استثارية ويقتصر تواجدها على العقد الذاتية ولب الكظر واللوحة المحركة للعضلات الهيكلية.



الشكل رقم (145): الجهاز نظير الودي والاعضاء المعصب به

وظيفياً، أثبتت تجارب التنبه الكهربائي للجهاز العصبي نظير الودي أنه مسؤول عن تضيق حدقة العين، وزيادة المفرزات الدمعية واللعابية وتباطؤ ضربات القلب وتضيق القصبات الهوائية وتقبض جدران المثانة وتنشيط الحركة التمعجية للأمعاء. وأيضاً تسبب في زيادة إنتاج العصارات المعدية والمعوية والبنكرياسية وتوسع الأوعية الدموية المحيطية.

الفصل العاشر
الـغـدد
The glands

الغدد عبارة عن نسيج ظهاري غلبت عليه الوظيفة الإفرازية مما دعا إلى تسمية خلاياه الخلايا الغدية Glandgo Cites، وعلى الأعضاء المتشكلة من هذه الخلايا اسم الغدد Glands.

إن مسوؤلية تنظيم الوظائف المختلفة في الجسم لا تقع على عاتق الجهاز العصبي وحده بل تساعده في هذا العمل الجملة الهرمونية التي تعني بشكل رئيسي بتنظيم الوظائف الاستقلابية في الجسم حيث تنظم معدلات التفاعلات الكيميائية في الخلايا كتركيب البروتينات وتنشيط المورثات لإنتاج نسخ من RNA الرسول وتنظيم نقل المواد عبر الأغشية الخلوية.

اكتسبت خلايا بعض الغدد (الغدد الصم) القدرة على استخلاص المواد من الوسط المحيط ثم تركيب المواد المعدة للإفراز بعمليات الاستقلاب البنائي Anabolism وطرحها على شكل مفرزات Secretes في السوائل الخلاليه المحيط بها، ومن ثم عبورها إلى الدم الذي يؤمن نقلها إلى الخلايا الهدف لتمارس تأثيراتها النوعية في أعضاء الجسم التي تتوضع بعيداً عن مكان تشكلها. وفي مستوى الخلايا الهدف تلعب الهرمونات دور رسول كيميائي ينظم العديد من الوظائف كالنمو والتطور والتكاثر والاستقلاب والضغط الشرياني والسكر وتوازن السوائل. ومن الجدير بالذكر أن بعض التأثيرات الهرمونية يظهر في غضون ثوان، بينما تتطلب تأثيرات أخرى عدة أيام حتى تبدأ، ثم تستمر أسابيع أو شهوراً.

1- تصنيف الغدد:

تقسم الغدد اعتماداً على المكان الذي تصب فيه مفرزاتها إلى ثلاث مجموعات كبيرة:

أ- غدد تكون على اتصال بالوسط الخارجي سواءٌ بشكل مباشر أو بشكل غير مباشر من خلال مجموعة من القنوات، وهذا النوع من الغدد يمكن أن يكون مكون من:

- خلية واحدة: الخلايا الكأسية الموجودة في السبيل المعدي المعوي والجهاز التنفسي والتي تفرز المادة المخاطية.
- عدد من الخلايا تنتظم بشكل عام على شكل حويصلات أو أنيبيبات تحيط بلمعة صغيرة تصب فيها المفرزات، لتنتقل بعد ذلك إلى قنيات تتحد في أقنية مفرغة خاصة تفتح مباشرة على السطح الخارجي كالغدد العرقية، أو على جوف له اتصال بالوسط الخارجي كالغدد الدمعية والغدد اللعابية.

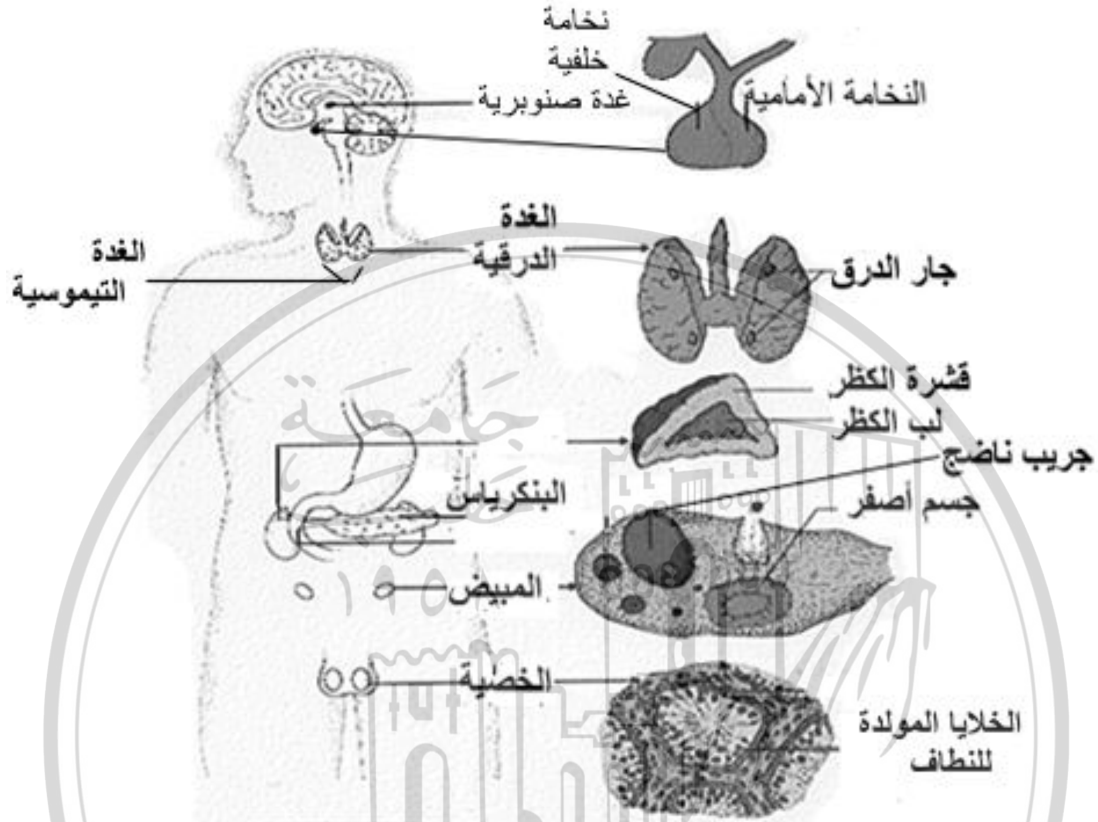
ب-الغدد داخلية الإفراز Endocrine Glands:

هي الغدد التي تلقي بمفرزاتها المدعوة بالهرمونات في الوسط الداخلي للجسم (الأوعية الدموية، الأوعية اللمفاوية، المسافات الخلاليه، السائل الدماغي الشوكي). تتصف هذه الغدد بكونها مجردة من القنوات المفرغة ولكنها تحتوي على شبكة دموية غزيرة. فهي تتألف من أوعية شعرية خاصة نسميها بالشعيرات الجيبية، والتي تتصف بعدم انتظام قطرها وبتقطع جدران طبقتها الوعائية الداخلية، ومن هذه الغدد: الغدة النخامية، الغدة الدرقية، الغدة التيموسية، الغدد جارات الدرق، الغدة الكظرية والغدة الصنوبرية، (الشكل رقم 146).

ج- الغدد المختلطة **Exo-Endocrine Glands**:

هي الغدد التي تتألف من خلايا خارجية الإفراز وخلايا داخلية الإفراز كالبنكرياس، أو تتألف من خلايا هي نفسها المكونة للغدة داخلية وخارجية الإفراز معاً كالكبد، أو أن تكون أعضاء غير تخصصية تقوم بعملية الإفراز بالإضافة إلى وظيفتها الأساسية كالعفج والقلب والكلية. بالإضافة إلى دور العفج الرئيسي كجزء من جهاز الهضم يقوم بوساطة عدد من الخلايا الموجودة فيه بإفراز عدد من الهرمونات مثل السكرتين والكولي سيستوكينين اللذان يساعدان في الهضم. والقلب أيضاً بالإضافة لدوره في ضخ الدم إلى أنحاء الجسم فإنه يقوم بإفراز هرمون الببتيد الصودي البولي الأذيني الذي يعمل على تخفيض الضغط الشرياني. أما الكلية بالإضافة إلى وظائفها الافراغية تقوم بإفراز هرمون الكالسيتروئيل المنشط لامتصاص شوارد الكالسيوم في سوية الامعاء استجابة لانخفاض

مستوى الكالسيوم في المصورة الدموية والرينين كاستجابة لانخفاض الضغط الشرياني والاريثروبيوتين كاستجابة لانخفاض عدد الكريات الحمر في الجسم.



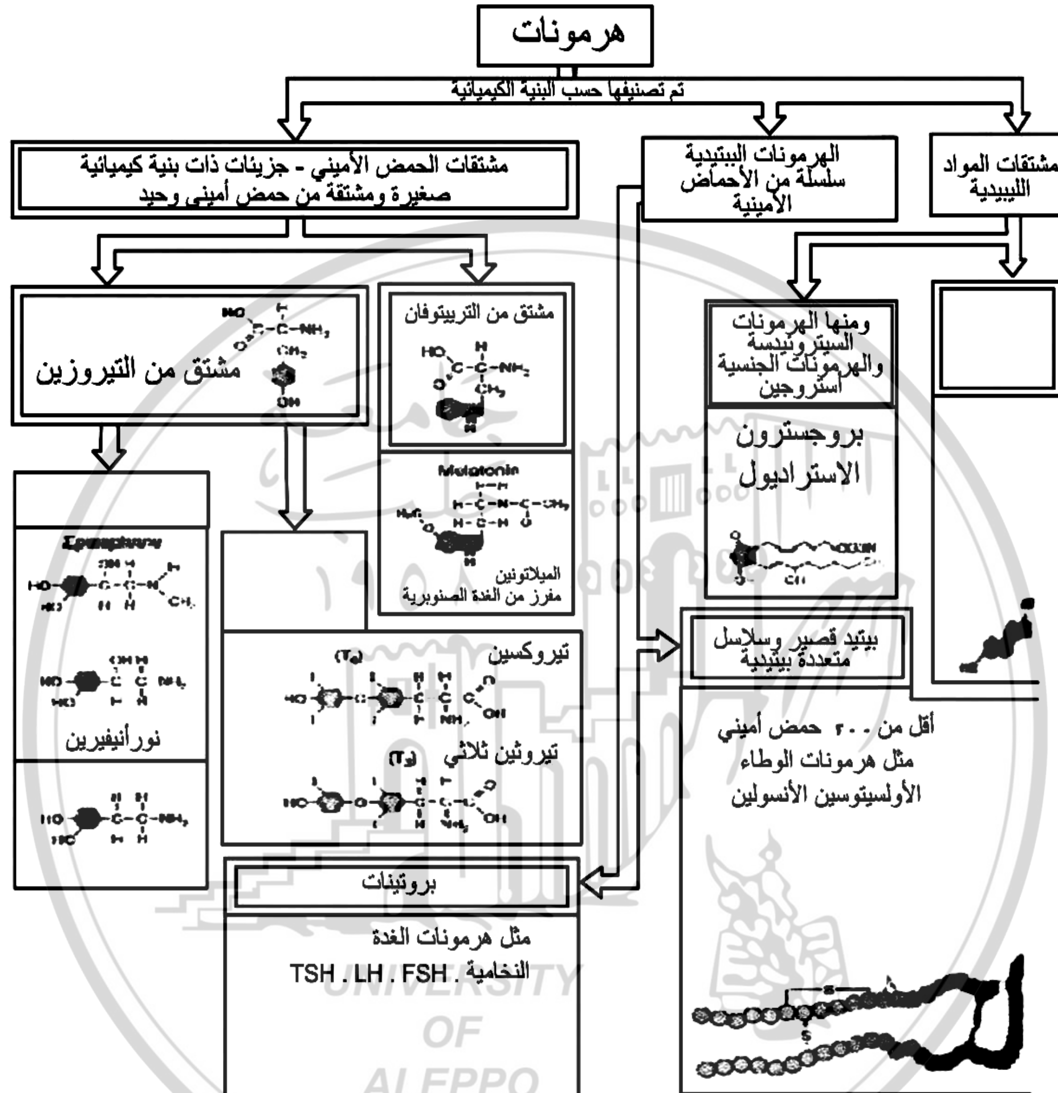
الشكل رقم (146): المواضع التشريحية للغدد الصم الرئيسة في الجسم

2- الهرمونات:

الهرمون مادة كيميائية تفرز في سوائل الجسم بوساطة خلية واحدة أو مجموعة من الخلايا، لتمارس تأثيراً فيزيولوجياً منظماً في خلايا الجسم الأخرى. ويمكن تصنيف الهرمونات تبعاً لتركيبها الكيميائي إلى ثلاث مجموعات، (الشكل رقم 147):

أ- مجموعة الهرمونات البسيطة: تتصف هرمونات هذه المجموعة بأنها ذات وزن جزيئي بسيط نسبياً، وهي غالباً مشتقه من أحماض أمينية، وينسب إلى هذه المجموعة كل من الهرمونات التالية: الأدرينالين Adrenaline، النور أدرينالين Noradrenaline، الدوبامين Dopamine، التي تركب من الحمض الأميني فينيل آلانين، وهرمونات الغدة الدرقية Thyroid Hormones التي تتركب من جزيئات الحمض الأميني تيروزين،

وهرمون الغدة الصنوبرية الميلاتونين Melatonin الذي يتركب من جزيئات الحمض الأميني التربتوفان.



الشكل رقم (147): هرمونات تم تصنيفها حسب البنية الكيميائية

وبما أن هذه الهرمونات ذات وزن جزيئي بسيط فهي تعبر غشاء الخلية الهدف بالنفوذ وتمارس تأثيرها في مستقبلات موجودة في النواة.

ب- مجموعة الهرمونات الببتيدية: تتصف هرمونات هذه المجموعة بأنها ذات وزن جزيئي مرتفع، وتتركب من سلاسل من الأحماض الأمينية تتراوح بين سلاسل قصيرة كهرمون الأوكسيتوسين Oxytocin. H (تسعة أحماض أمينية) أو من سلاسل طويلة

كهرمون النمو Growth. H (191 حمض أميني) والبرولاكتين Prolactin.H (198 حمض أميني) وهرمونات النخامة الأمامية.

يتم بناء طلائع الهرمونات الببتيدية على الجسيمات الريبية للشبكة البلاسمية الداخلية الحبيبية بآلية تركيب البروتين وبإشراف مورثات الخلية ومن ثم تنتقل طلائع البروتين من الشبكة البلاسمية الداخلية إلى جهاز غولجي لتعطي شكلها النهائي الوظيفي قبل أن تفرز إلى خارج الخلية عن طريق الحويصلات الإفرازية.

وبما أن هذه الهرمونات ذات وزن جزيئي كبير فإنها تعبر غشاء الخلية الهدف وتمارس تأثيرها في مستقبلات موجودة على سطح الخلية الهدف.

ج- الهرمونات الستيروئيدية: تشتق هذه المجموعة من المواد الليبيدية (الكوليسترول) إثر سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية بوساطة انزيمات نوعية، تبدأ في الجسيمات الكوندرية ومن ثم في الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء. وبما أن هذه الهرمونات من طبيعية ليبيدية فإنها تعبر غشاء الخلية وتمارس تأثيرها في مستقلات موجودة في سيتوبلاسما الخلية الهدف. وينضم إلى هذه المجموعة كلٌّ من هرمونات قشر الكظر (الألدوستيرون والكورتيزول) والهرمونات الجنسية (التستوستيرون والاستروجين).

3- خصائص الهرمونات:

تتصف الهرمونات بخصائص عديدة أهمها:

أ- العتبة: يبدأ عمل الهرمونات ويظهر تأثيرها في العضوية اعتبارا من عتبة معينة ترتبط بكمية معينة من الهرمون، ويمكن أن تكون العتبة صغيرة جداً (عبارة عن كميات متناهية في الصغر لا تتجاوز أجزاء الميكرو غرام أي 1/1000 من الميلغرام). وتختلف العتبة بالنسبة لهرمون ما عند الانتقال من نوع إلى نوع آخر، ولهذا يعد من التهور أن نطبق في التداوي الهرموني عند الإنسان ما نحصل عليه من نتائج تجريبية كمية عند الحيوان.

ب-العلاقة بين كمية الهرمون وبين درجة تأثر العضو الهدف: هناك تناسبٌ بين كمية الهرمون وبين درجة تأثر العضو الهدف، فمثلاً يختلف عمل الغدة الدرقية باختلاف كمية الهرمون المنشط للدرق (المفرز من قبل الفص الأمامي للغدة النخامية)، بدليل

كلما ازدادت كمية الهرمون المنشط للدرق ازداد نشاط الغدة الدرقية.

ج- العمل المنشط والعمل المثبط للهرمون: للهرمونات بشكل عام تأثيرٌ منشطٌ، ولكن قد تبدي بعض الهرمونات تأثيراً مثبطاً، مثل تأثير الهرمونات المبيضية الجنسية على تلون الأرياش عند الدجاج، حيث تكون ألوان الأرياش جميلة وزاهية عند الديوك، وتكون باهتة قاتمة عند الدجاج. بدليل إن استئصال المبيض عند الدجاج يؤدي إلى ظهور أرياش زاهية.

4- آلية عمل الهرمونات:

تقوم الهرمونات بوظائفها عن طريق التحكم بنشاط النسيج الهدف ولإنجاز هذا الفعل يجب تعديل التفاعلات الكيميائية الحيوية داخل الخلايا بشكل استثاري أو تثبيطي. ولقد تبين أن الهرمون المفرز في الوسط الداخلي للجسم وخاصة في الدورة الدموية يؤثر تأثيراً نوعياً في الخلايا الهدف، فتارة يكون تأثير الهرمون في عضو محدداُ كالغدة الدرقية التي تنشط استجابة لتأثير الهرمون المنشط للدرق المفرز من قبل الفص الأمامي للغدة النخامية، وتارة يشمل تأثير الهرمون كل خلايا الجسم مثل الأنسولين المفرز من قبل جزر لانغرهانس في البنكرياس. أما ردود فعل الأعضاء المستقبلة فهي متنوعة ونميز:

أ- ردود فعل شكلية: يعبر عنها بتبدلات تصيب الخلايا، والتي تتجلى بالنمو العام للجسم أو التضخم الخاص لبعض الأعضاء الخاصة.

ب- ردود فعل حركية: يعبر عنها من خلال تنشيط الانقسامات الخلوية والفعل المفرز في الأعضاء الغدية.

ج- ردود فعل استقلابية: تتجلى في بعض الخلايا أو تعمم في جميع أنحاء الجسم، كتأثير مفرزات الغدة الدرقية بأفعال الأكسدة في خلايا الجسم، وتأثير الأنسولين في استقلاب السكريات.

وبما أن الهرمون نوعي فعمله غير عشوائي فهو يمارس تأثيره في مناطق محددة في الجسم من خلال ارتباطه مع المستقبلة التي تتوضع:

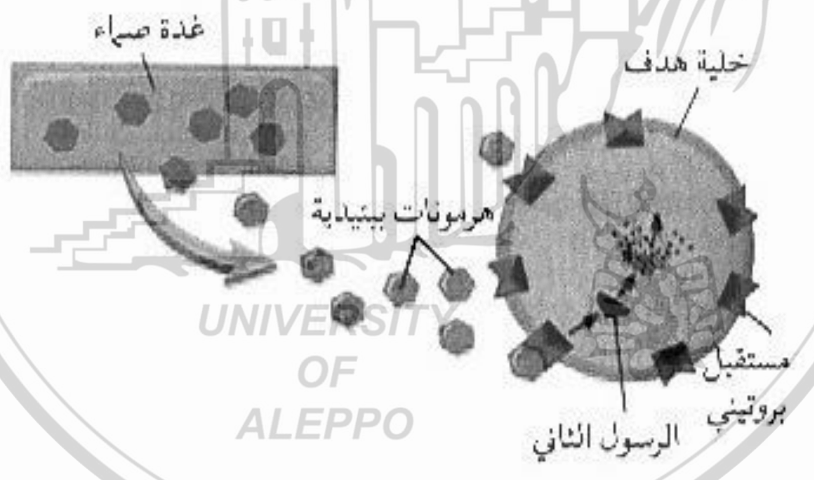
1- إما على سطح الغشاء الخلوي للخلية الهدف، كما هو الحال في مستقبلات الهرمونات الببتيدية.

2- أو ضمن سيتوبلاسما الخلية الهدف، كما هو الحال في مستقبلات الهرمونات الستيروئيدية.

3- أو ضمن نواة الخلية الهدف، كما هو الحال في مستقبلات الهرمونات البسيطة.

1- حالة المستقبلة الموجودة على سطح الغشاء الخلوي:

بسبب كبير حجم جزيئات الهرمون وعدم استطاعته عبور غشاء الخلية الهدف فإنه يمارس تأثيره بشكل مباشر في المستقبلات الموجودة على غشاء الخلية الهدف وبشكل رسول أول First Messenger يؤدي إلى ظهور رسول ثانوي Second Messenger في سيتوبلاسما الخلية الهدف. يقوم الرسول الثانوي بوظيفته كمفعل أو مثبط لأنزيم ما، والنتيجة هي تعديل معدل عدد من النشاطات الاستقلابية في الخلية، (الشكل رقم 148). فعند ارتباط الهرمون بالمستقبلة الموجودة على سطح الغشاء الخلوي يؤدي إلى فتح وغلق قنوات شاردية متعلقة بشوارد الصوديوم والبوتاسيوم، مما يؤدي إلى ظهور الاستجابة الهرمونية.

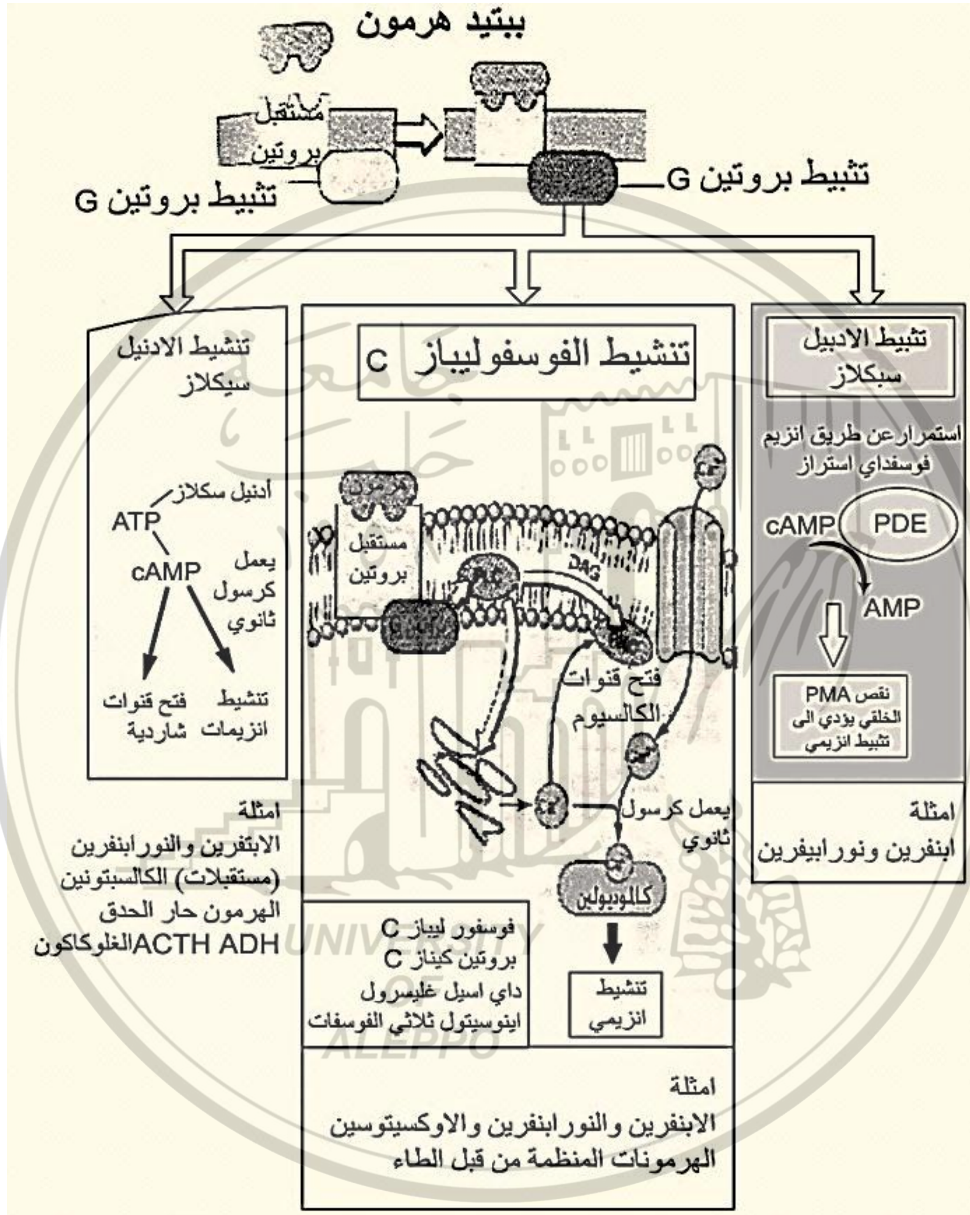


الشكل رقم(148) آلية عمل الهرمونات الببتيدية

ويمكن أن يلعب دور جملة الرسول الثاني عدة مركبات هي:

جملة أدينيل سيكلاز Adenyl Cyclase أدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي Cyclic Adenosine Amino Phosphate (AMP): يؤدي تماس الهرمون بالبروتين G إلى تنشيط أنزيم أدينيل سيكلاز Adenyl Cyclase الموجود على الوجه الداخلي للغشاء الخلوي. يقوم أنزيم أدينيل سيكلاز وبوجود شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم بحلمهة جزئيات الـ ATP ويحولها إلى AMPc. الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي AMPc يعمل عمل

رسول ثانوي يبدأ تأثيره بسلسلة من التفاعلات تتناول تفعيل الكيناز غير الفعال الموجود داخل الخلية الكيناز المفعل يؤدي إلى ظهور الاستجابة الهرمونية وذلك عن طريق، (الشكل رقم 149):



الشكل رقم (149): يوضح آليات نشاط الهرمونات الببتيدية عن طريق ارتباطه مع مستقبلات الغشاء وتنشيط بروتينات G.

1- تنشيط تركيب بعض الأنزيمات غير الموجودة أصلاً في السيتوبلاسما، وذلك عن طريق تنشيطها لمورثات محددة في النواة.

2- تزيد أو تنقص في معدل تركيب أنزيم ما عن طريق تعديل عملية النسخ والترجمة.

3- تفعل بعض الأنزيمات أو تثبط أنزيمات أخرى عن طريق تعديل بنية هذه الأنزيمات.

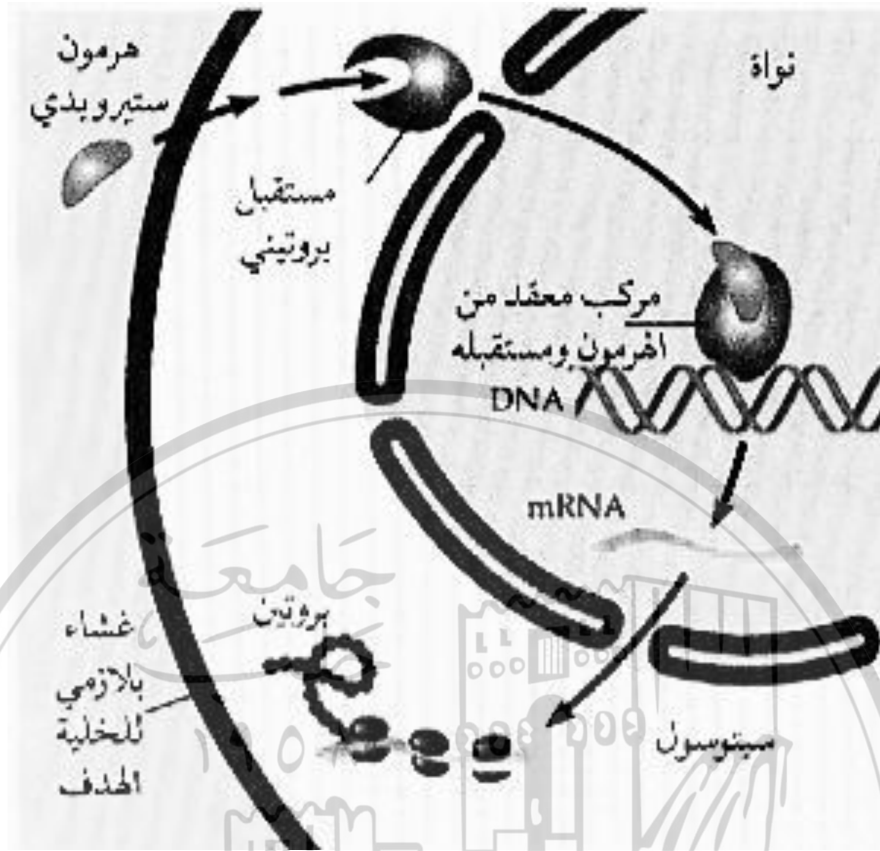
ولكن الزيادة في AMPc تستمر عادة لوقت قصير وذلك لأن سيتوبلاسما الخلية تحوي على أنزيم يسمى فوسفو دي استراز Phospho - de - Esterase الذي يثبط الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي AMPc ويحوله إلى أدينوزين أحادي فوسفات AMP.

ب- جملة الفوسفو ليبيدات الغشائية: يؤدي ارتباط الهرمون بالبروتين G إلى تنشيط أنزيم الفوسفوليباز Phospho Lipase Cyclase (PLC) الموجود على الوجه الداخلي للغشاء الخلوي، وهذا بدوره يقوم بعملية هدم لمركب الفوسفوتيديل إينوسيتول ثلاثي الفوسفات (PIP3) إلى مركبين، غليسيريد ثلاثي الفوسفات وإينوسيتول ثلاثي الفوسفات. يقوم الاينوسيتول ثلاثي الفوسفات بإحداث الاستجابة كرسول ثانٍ فينشط انزيم كيناز موجود داخل الخلية بصورة غير فعالة. الكيناز الفعال يؤدي إلى ظهور الاستجابة الهرمونية من إفراز أو تغير درجة نفوذية الغشاء الخلوي.

ج- جملة الكالسيوم - كالمودولين: تنشط هذه الجملة نتيجة دخول شوارد الكالسيوم إلى داخل الخلية وارتباطها ببروتين داخلي يدعى كالمودولين Calmodulin. هذا الارتباط يحدث تغيراً شكلياً يتفعل بنتيجتها الكالمودولين Calmodulin الذي يقوم بتنشيط أنزيمات محددة في الخلية الهدف، مثل تفعيل كيناز الميوزين التي تؤثر مباشرة في ميوزين العضلات الملس لإحداث التقلص العضلي فيها.

2- الهرمونات التي تخترق الغشاء الخلوي لتقوم بعملها داخل سيتوبلاسما الخلية الهدف:

تعبر الهرمونات الستيروئيدية الغشاء الخلوي إلى داخل الخلية وتتحد مع مستقبلات بروتينية نوعية داخل السيتوبلاسما، ثم ينتشر المركب المؤلف من المستقبلة والهرمون إلى النواة. يمكن لمعقد الهرمون - المستقبل أن يتحد مع قطع من الـ DNA التي تدعى بالعناصر المستجيبة للهرمونHormone Responsive Elements (HRE). الأمر الذي يفعل عملية انتساخ المورثات النوعية لتشكل RNA الرسول، ثم ينتشر RNA الرسول إلى الستوبلاسما وفيها تنشط عملية الترجمة على الجيسيمات الريبية لتشكيل بروتينات جديدة، (الشكل رقم 150).



الشكل رقم(150) الية عمل الهرمونات الستيروئيدية

فالهرمون الجنسي الذكري التستوستيرون ينشط إنتاج أنزيمات معينة في العضلات الهيكلية مما يؤدي إلى زيادة حجم وقوة هذه العضلات عند الذكور.

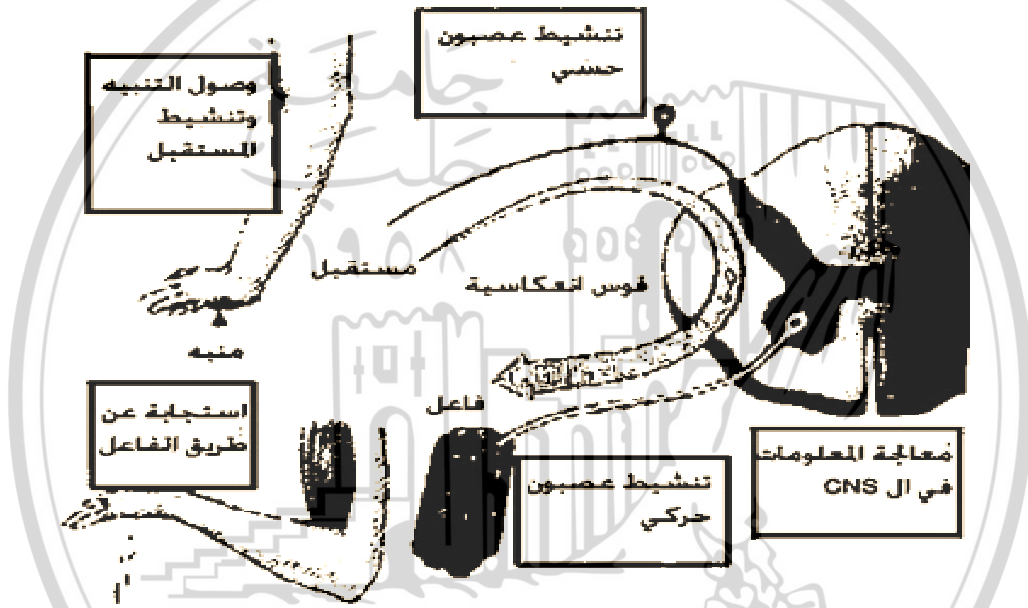
مع الملاحظة أن الاستجابة الهرمونية بهده الطريقة يمكن أن تحدث بعد فترة زمنية قدرها (45) دقيقة وهذا على عكس ما يحدث في الهرمونات الببتيدية التي تتميز بالاستجابة السريعة والمباشرة.

3- **الهرمونات التي تخترق الغشاء الخلوي لتقوم بعملها في نواة الخلية الهدف:**

تعبر الهرمونات البسيطة وخاصة الهرمونات الدرقية الغشاء الخلوي إلى داخل الخلية الهدف وترتبط بمستقبلات موجودة داخل النواة مشكلة معقد (الهرمون . المستقبل). ينشط هذا المعقد مورثات محددة ويعدل في معدل النسخ في جزيء الـ DNA في النواة، مما يؤدي إلى تغيير مستوى النشاطات الاستقلابية داخل الخلية وذلك عن طريق تغيير طبيعة وعدد جزيئات أنزيمات معينة في السيتوبلاسما. كما تبدي الهرمونات الدرقية تأثيراً مباشراً على الجسيمات الكوندرية مما يؤدي إلى زيادة معدل إنتاج الطاقة في الخلية.

5- منعكسات الغدد الصم:

هناك العديد من الوظائف المتشابهة بين التنظيم العصبي والتنظيم الهرموني. وتعد العملية الانعكاسية التي تنظمها القوس الانعكاسية Reflex Arch من أبسط أشكال التنظيم الذي تبديه الجملة العصبية، وخاصة فيما يتعلق بمنعكس المشبك الواحد، حيث يتم انتقال الدفعات العصبية من المستقبل عبر ليف حسي إلى مركز عصبي في الجملة العصبية المركزية CNS ومنه إلى العصبون المحرك فالعضو الفاعل، كمنعكس الشد، (الشكل رقم 151).



الشكل رقم (151) يبين أقسام القوس الانعكاسية

أما منعكسات الغدد الصم فتتميز بأنها تنظم بآليات التغذية الراجعة السلبية Negative Feed Back والتي تتلخص بأن المنبه يؤدي إلى إنتاج هرمون معين يؤدي إفرازه في النهاية إلى تناقص تأثير المنبه، ونميز نمطين من منعكسات الغدد الصم هما:

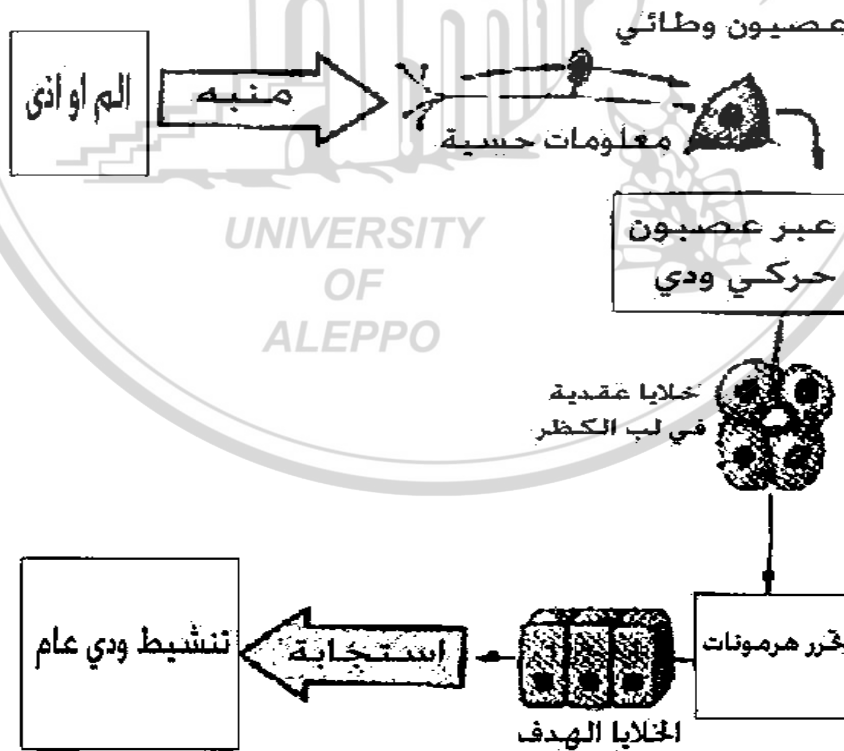
أ . منعكسات الغدد الصم البسيطة Simple Endocrine Reflexes:

وفيها تستجيب الخلايا الغدية إلى تغيير مكونات السائل خارج الخلوي عن طريق تحرر هرمون معين، ينبه هذا الهرمون الخلية الهدف بحيث يؤمن حفظ الاستتباب Homostasis في المتعضية، فمثلا انخفاض تركيز شاردة الكالسيوم في سوائل الجسم تحت مستوى الحد الطبيعي يحث جارات الدرق على إفراز هرمون باراتيروئيد مما يؤدي

إلى زيادة تركيز شوارد الكالسيوم في سوائل الجسم، بينما ارتفاع تركيز شوارد الكالسيوم في سوائل الجسم فوق الحد الطبيعي يحث الغدة الدرقية على إفراز هرمون الكالسيتونين الذي يخفض تركيز شوارد الكالسيوم في سوائل الجسم.

ب – منعكسات الغدد الصم العصبية Neuron Endocrine Reflexes:

هي منعكسات أكثر تعقيداً تتطلب اشتراك الوطاء Hypothalamus، والمنبه في هذه الحالة يمكن أن يكون تغيراً كيميائياً في الدم أوتغيراً في إحدى نشاطات الجملة العصبية المركزية CNS. وتتم الاستجابة بأن يفرز الوطاء هرمونات تنظم النشاط الهرموني في الغدة النخامية، والغدة النخامية بدورها تنظم نشاطات غدد صماء أخرى، كما هوالحال في عملية تنظيم العمل الغدي الكظري من خلال النشاط العصبي الودي، حيث المنبهات الالمية تؤدي إلى تنبيه الوطاء عن طريق ليف حسي نقل التنبيهات إليه، وهوبدوره يقوم بتنبيه العقد العصبية الودية في لب الكظر ويحثها على إفراز الأدرينالين الذي يؤثر بدوره في الخلايا الهدف ويدفعها للقيام بالاستجابة المناسبة التي تزداد بزيادة النشاط الودي، (الشكل رقم 152).



الشكل (152) منعكس الغدد الصم، تنظيم افراز هرمون لب الكظر

6-الغدد الصم الموجودة في جسم الإنسان:

ويتألف جهاز الغدد الصم عند الإنسان من الغدد الأتية:

أولاً: هرمونات الوطاء Hypothalamus Hormones:

تعمل الجملة العصبية مع الجملة الغدية بتنسيق دقيق، ويلعب الوطاء دوراً مهماً في هذا المجال بسبب اتصاله بأجزاء أخرى من الدماغ من جهة ومع الغدة النخامية من جهة أخرى.

يشرف الوطاء على الغدة النخامية بقسميها الغدي والعصبي، ويتم ذلك عن طريق اتصالات عصبية ووعائية بالنسبة للنخامة الأمامية وعن طريق اتصالات عصبية بالنسبة للنخامة الخلفية. إن تركيب المفرزات الوطائية يخضع لسيطرة المراكز العصبية العليا عن طريق معلومات حسية (انفعالات، إضاءة، حرارة) ومعلومات خلطيه وهرمونية من مختلف أعضاء الجسم.

تصل هرمونات الوطاء المؤثرة في النخامة الأمامية عن طريق الدوران البابي، بينما تصل هرمونات الوطاء المؤثرة في النخامة الخلفية عن طريق المحاور العصبية حيث تخزن فيها.

وظيفياً، يقوم الوطاء بإفراز عدة هرمونات منظمة لعمل النخامة الأمامية معظمها هرمونات محرضة والباقي هرمونات مثبطة:

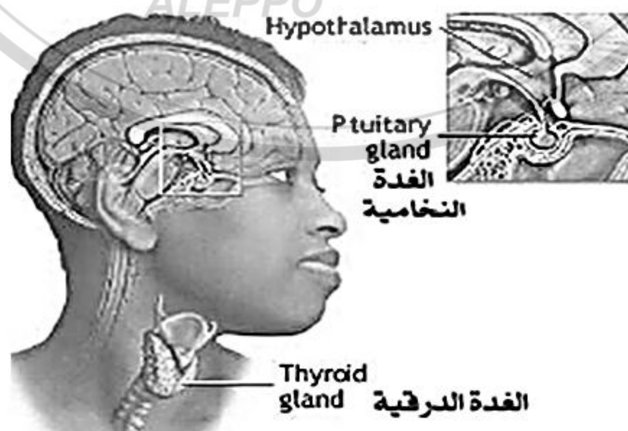
- يحرض الهرمون المطلق للمنشطات الدرقية Thyroid Releasing Hormone (T.R.H) الفص الأمامي للغدة النخامية على إفراز الهرمون المنشط للدرق Thyroid Stimulating Hormone.(T.S.H) .
- يحرض الهرمون المطلق للهرمونات المنسلية Gonadotropin Releasing Hormone (Gn.R.H) الفص الأمامي للغدة النخامية على إفراز الهرمون المنشط للجسم الأصفر(L.H) .Luteinizing Hormone والهرمون المنشط للجريب(F.S.H) .Follicle Stimulating Hormone.
- يثبط الهرمون المثبط لإفراز هرمون النمو(G.I.H) Growth Inhibiting Hormone إفراز هرمون النمو من قبل الفص الأمامي للغدة النخامية.

- يحرض الهرمون المطلق لهرمون النمو Growth Releasing Hormone (G.R.H.) الفص الأمامي للغدة النخامي على إفراز هرمون النمو.
- يحرض الهرمون المطلق للمنشطات القشرية الكظرية Corticotrophin Releasing Hormone.(C.R.H) النخامية الأمامية على إفراز الهرمونات القشرية الكظرية (A.C.T.H).
- العامل المطلق للبرولاكتين Prolactin Releasing Factor.(P.R.F) والعامل المثبط للبرولاكتين Prolactin Inhibiting Factor.(P.I.F) اللذان يعملان على تحريض أو تثبيط الفص الأمامي للغدة النخامية على إفراز البرولاكتين.
- العامل المطلق أو المثبط للحاثة الميلانية Melanocyte Releasing Factor or Inhibiting Factor الذي يحرض أو يثبط إفراز الهرمون المنشط للخلايا الصباغية الجلدية من قبل الفص المتوسط للغدة النخامية.

ثانياً: الغدة النخامية The Pituitary Gland:

الغدة النخامية عبارة عن غدة صغيرة الحجم بيضوية الشكل، ذات لون أحمرمائل للأصفر. يبلغ متوسط قطرها (10) مم ومتوسط وزنها عند الرجل (0.5غ) وعند المرأة (0.7) غ.

تتوضع الغدة النخامية في تجويف عظمي في قاعدة القحف يدعى السرج التركي Sella Turcica وترتبط بقاعدة الدماغ بوساطة السويقة النخامية Hypophysial Stalk، أوما يسمى بالقمع، (الشكل رقم 153).



الشكل رقم (153) مكان توضع الغدة النخامية

تروي الغدة النخامية مجموعة من الشرايين تشتق من الشريان السباتي الداخلي وهي الشريان النخامي العلوي والشريان النخامي المتوسط والشريان النخامي السفلي. يقوم الشريان النخامي السفلي بتروية الفص الخلفي من الغدة النخامية، بينما يروي الشريانان المتوسط والعلوي الفص الأمامي من الغدة النخامية. يتجه الشريان النخامي العلوي إلى السويقة النخامية حيث يتفرع إلى شبكة من الشعريات الدموية تستقبل هرمونات الوطاء ثم تتحد لتتفرع من جديد بشبكة خاصة بالفص الأمامي قبل أن تتجمع في وريد يغادر الغدة النخامية لينتهي إلى القلب. ويطلق على هذه الجملة الوعائية التي تبدأ وتنتهي بشبكة من الشعريات الدموية اسم الجملة البابية، (الشكل رقم 154). كما وتعصب الغدة النخامية بألياف عصبية ودية تنشأ من العقدة العنقية العليا وألياف نظيرة الودية.

الشكل رقم (154): التروية الدموية للغدة النخامية

في مرحلة مبكرة من التشكل الجنيني، تندفع من هذه الصفيحة الارضية للبطين الثالث سويقة تنتهي بانتفاخ صغير يشكل ما يسمى الفص الخلفي أو النخامة الخلفية.

ولكونه يتشكل من النسيج العصبي، يطلق عليه اسم الفص العصبي Neurohy- Pophysis.

يتصل الفص العصبي بالوطاء بواسطة سويقة تخترقها الألياف العصبية القادمة من النويات فوق البصرية وجانب البطينية في منطقة الوطاء. وبالتزامن مع تشكل الفص العصبي النخامي يتشكل في الناحية الخلفية للبلعوم ردباً أو جيباً يسمى الجيب النخامي أو جيب راتكه Rathke. يقترب هذا الجيب من الفص العصبي وترتشف الرجيلة التي تربطه بالبلعوم ثم يلتصق بالناحية الأمامية من الفص العصبي. يبقى الجدار الظهري للجيب النخامي رقيقاً ويصدر عنه بعض الامتدادات التي تتداخل مع الفص العصبي مشكلاً الفص المتوسط، كما ينمو الجدار البطني الأمامي للجيب النخامي ويصدر ردوباً تتشابك وتتشعب ثم تتقطع إلى كتل خلوية غير منتظمة يحيط بها نسيج ضام غزير الأوعية الدموية مشكلاً الفص الأمامي للغدة النخاميةAdenohypophysis.

وتتألف الغدة النخامية نسيجياً ووظيفياً من ثلاثة فصوص:

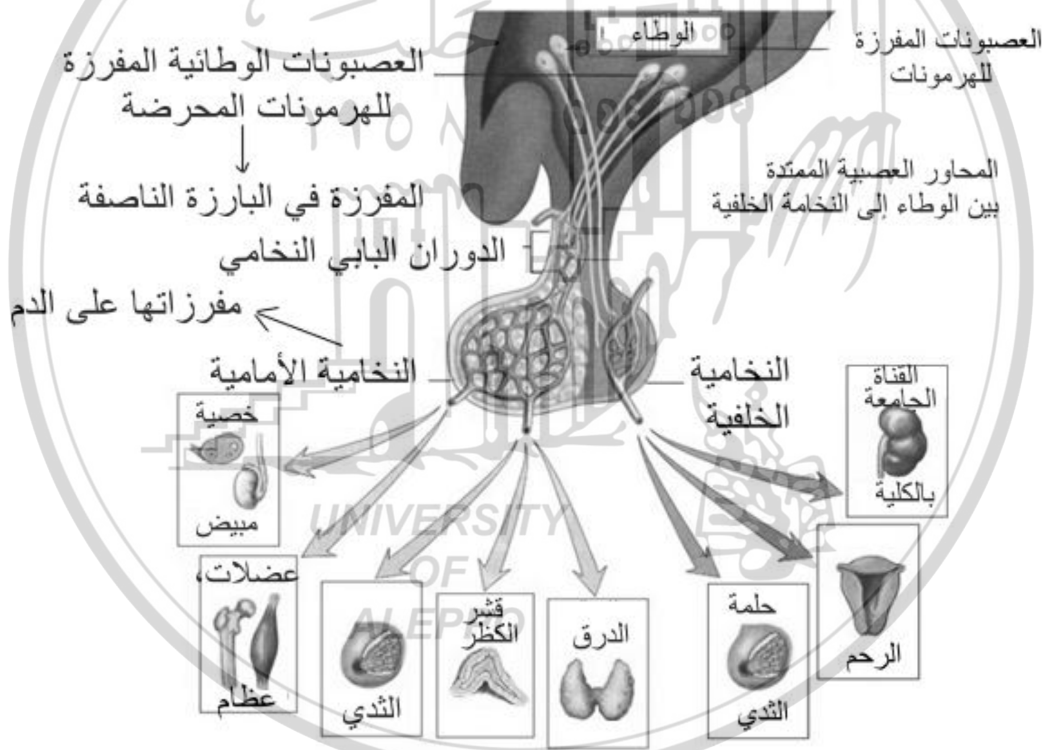
أ- الفص العصبي أو النخامة الخلفية Neurohypophysis: يتألف من خلايا شبيهة بالخلايا الدبقية Glial-like Cells تدعى الخلايا النخامية. هذه الخلايا لا تفرز هرمونات وإنما تلعب دوراً دعامياً للنهايات العصبية الخاصة بألياف عصبية ناشئة في النوى فوق البصرية والنوى قرب البطنية للوطاء، (الشكل رقم 155).

وتمر هذه الألياف إلى النخامة الخلفية عبر السويقة النخامية وتنتهي بشكل عقد بصلية تتوضع على سطوح الشعيرات التي تفرز ضمنها هرموني النخامة الخلفية: الهرمون المضاد للإبالة Antidiuretic Hormone.(ADH) أو (الفازوبرسين) والأوكسيتوسين Oxytocin Hormone. (OT).

الهرمون المضاد للإبالة عبارة عن هرمون ببتيدي يتشكل في النواة فوق البصرية Subraoptic.N الذي يتنقل بوساطة بروتينات حاملة تدعى النورفيزينات Neurophysins عبر الألياف العصبية إلى العقد المتوضعة في النخامة الخلفية ويتراكم فيها. يعمل الهرمون المضاد للإدرار (ADH) على مراقبة إفراز البول من الكليتين حيث يخفض حجم البول المطروح ويعمل على زيادة تركيزه، وبالتالي تنظيم التوازن المائي الملحي لسوائل الجسم. كما أن النقص الشديد في حجم الدم الناجم عن الإسهال أو النزف الدموي وبدون

تغير في الضغط الحلولي يحرض النخامة الخلفية على تحرير ADH الذي يعمل على رفع الضغط الشرياني بسبب تأثيره القوي كمقبض وعائي في الجسم، فلذلك يسمى هذا الهرمون أيضاً الفازوبرسين Vasopressin لكونه رافعاً للضغط الشرياني ومقبضاً للأوعية الدموية عند الإنسان.

أما الأوكسيتوسين فهو هرمون ببتيدي يتشكل في النواة قرب البطينية Paraventricular N. ويخزن في النخامة الخلفية في ظروف الراحة. وظيفة هذا الهرمون أنه يحرض على تقلص الرحم وتسريع الولادة ، كما أنه يؤثر على الغدد الثديية بحيث يسهل تدفق الحليب وخروجه من حلمة الثدي أثناء الرضاعة بمنعكس عصبي مركزه الوطاء.



الشكل رقم (155): يوضح وظائف كل من الفص الأمامي والخلفي للغدة النخامية

ب-الفص المتوسط Pars Intermedia:

يتألف الفص المتوسط من عدة طبقات خلوية تحتل منطقة ضيقة يفصلها عن الفص الأمامي الشق النخامي ولا توجد حدود واضحة بينها وبين الفص العصبي أو الخلفي، (الشكل رقم 156). يفرز الفص المتوسط الهرمون المنشطة للخلايا الميلانية

Melanocyte-Stimulating Hormone التي تؤثر في الخلايا حاملة الصبغة فيؤدي إلى انتشار الصبغة في استطالاتها وتلون الجلد باللون القاتم.



الشكل رقم (156): مقطع نسيجي في الغدة النخامية

ج- الفص الغدي أو النخامة الأمامية Adenohypophysis:

تمثل النخامة الأمامية الجزء الأكبر من الغدة النخامية وتشكل نسبة 75% من حجم الغدة النخامية، وتقوم بإفراز ستة هرمونات ببتيدية.

وتتكون النخامة الأمامية من نوعين من الخلايا (المحبة للون والكارهة للون) دون حدود واضحة بين نوعي الخلايا، حيث تتوزع الخلايا الكارهة للون بين الخلايا المحبة للون. ويمكن للخلايا المحبة للون أن تفقد حبيباتها وتتحول إلى خلايا كارهة للون، (الشكل رقم157).

أ-خلايا كارهة للون :Chromophobes. C وتمثل 50% من مجموع الخلايا، وهي خلايا صغيرة لا تشتمل سيتوبلاسماها على حبيبات إفرازية، فلذلك تبدو مجهرياً ذات مظهر نير.

وظيفتها غير معروفة وإنما تعمل كخلايا احتياطية تتمركز في مركز الحبال الخلوية على شكل مجموعات.

ب-خلايا محبة للون Chromophils. C وتمثل باقي مجموع الخلايا، وهي نوعان:

1- خلايا ألفا ولوعة بالألوان الحمضية، وتشكل نسبة 35% من مجموع الخلايا، وظيفتها إفراز هرمون النمو (GH) Growth .H، وهرمون البرولاكتين Prolactin. H.

2- خلايا بيتا ولوعة بالألوان الأساسية، وتشكل نسبة 15% من مجموع الخلايا، وتفرز هذه الخلايا الهرمونات التالية:

أ-الهرمون الحاث لقشرة الكظر (ACTH) Adrenocorticotropin. H.

ب-الهرمون الحاث للدرق. (TSH) Thyroid Stimulating. H.

ج-الهرمون الحاث للجريب. (FSH) Follicle Stimulating. H.

د-الهرمون الملوتن. (LH) Luteinizing. H.



الشكل رقم (157): مقطع نسيجي في الفص الامامي للغدة النخامية تظهر فيه الخلايا المحبة للون والكارهة للون.

1- هرمون النمو Growth Hormone GH:

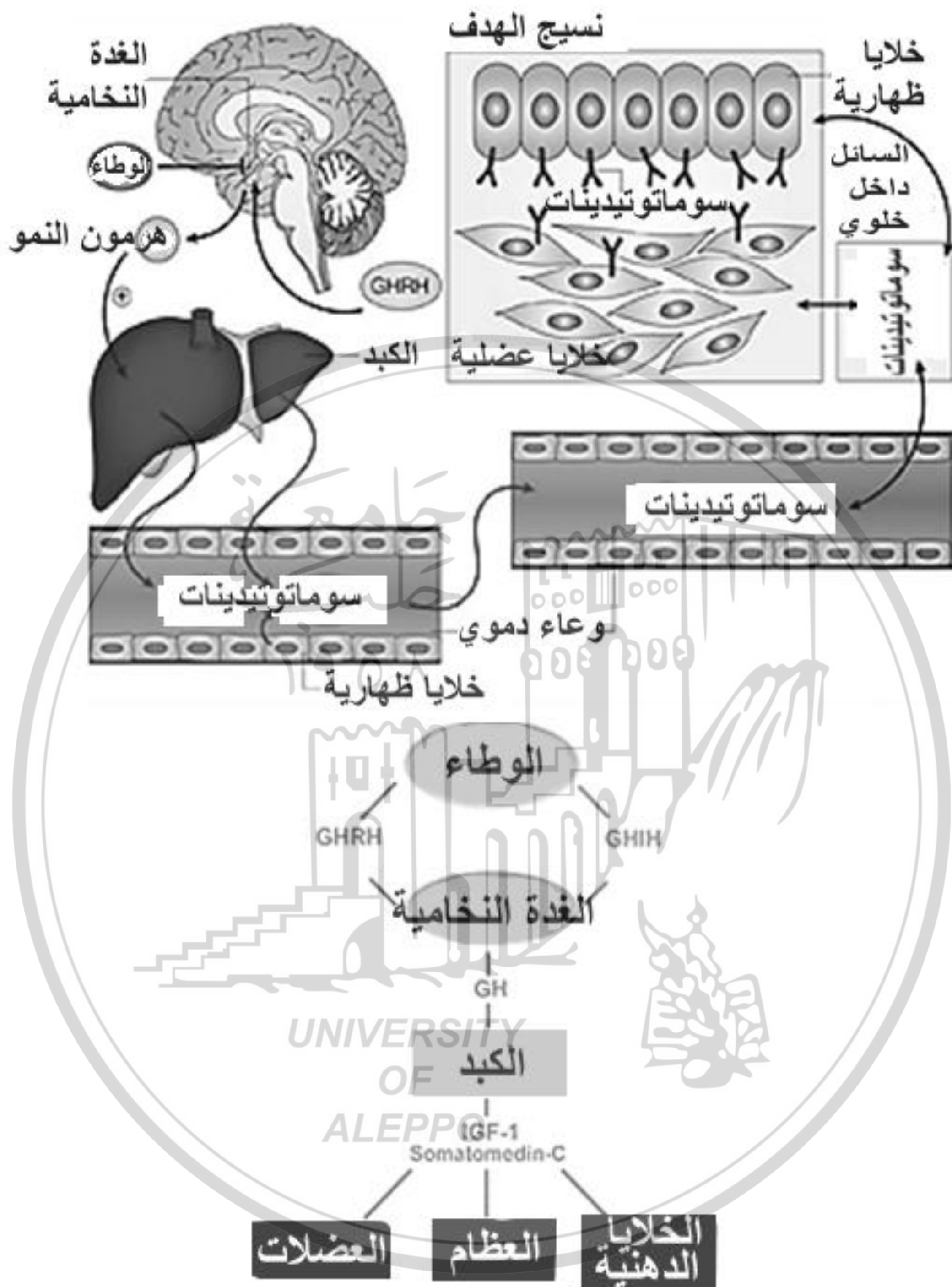
هرمون النمو هرمون ببتيدي صغير يتألف من (191) حمضاً امينياً في سلسلة واحدة. وتبلغ نسبة هذا الهرمون حوالي (3 نانو غرام في كل 1 سم^3 بلازما) ويستمر هذا

الهرمون في حياته القصيرة (30 – 40 دقيقة) ثم يتحطم في الكبد. ومن الجدير بالذكر أن هرمون النمو يفرز بشكل دائم وبشكل تنازلي ليهبط عند الشيخوخة إلى نحو 25% عن مستوى إفرازه في سن المراهقة Adolescenc. يتحرر هرمون النمو بتأثير الهرمون المحرر لهرمون النمو Growth Releasing Hormone (GRH) ويثبط إفرازه الهرمون المثبط لهرمون النموGrowth Inhibiting Hormone (GIH) المفرزين من قبل الوطاء.

ومن العوامل التي تنشط إفراز هرمون النمو: التمارين الرياضية ونقص معدل الغلوكوز في الدم أو انخفاض تركيز الحموض الدهنية في الدم والرضوض Trauma والانفعالات والتعرض الشديد للبرد.

يؤثر هرمون النمو في كل أنحاء الجسم، فهو يحفز زيادة حجم الخلايا وتضاعفها عن طريق زيادة معدل تركيب البروتين. وعلى الرغم من أن جميع خلايا الجسم تستجيب إلى حد ما لهذا الهرمون، فإن خلايا العضلات الهيكلية والخلايا الغضروفية تعد الأكثر حساسية لهذا الهرمون.

إن هرمون النمو لا يتصف بتأثير مباشر مهم في نمو عنصري الهيكل الغضروفي والعظمي، بدليل عدم حدوث زيادة ملحوظة نمائية في الخلايا الغضروفية عند تطبيق هرمون النمو مباشرة على الخلايا الغضروفية المزروعة خارج الجسم، رغم أن زرق هرمون النمو في حيوان سليم يؤدي إلى تكاثر الخلايا الغضروفية والنمو. لذلك نقول إن هرمون النمو يؤثر بشكل غير مباشر في الغضاريف والعظام بتحريض الكبد على تشكيل مواد وسيطة تسمى السوماتوميدينات Somatomedins أو ما يدعى عوامل النمو المشابهة للأنسولين Insulin . Like Growth Factors. وتتمثل وظيفة هذه العوامل في تحريض الخلايا الغضروفية على إفراز سلفات الكندروئتين Chondroitin والكولاجين الضروريين لنمو الغضاريف والعظام من جهة، وتعزيز عملية تكون البروتينات في الخلايا الغضروفية والأرومة العظمية مما يزيد من معدل تكاثر الخلايا العظمية والغضروفية وتحول الخلايا الغضروفية إلى خلايا مولدة للعظم يعزز التعظم الغضروفي من جهة أخرى، بدليل الأفارقة المصابين بالقزامة تكون تراكيز هرمون النمو لديهم طبيعية أو أنها مرتفعة، فلذلك يعزى سبب القزامة إلى نقص كميات السوماتوميدينات بسبب عجز وراثي في تشكيله استجابة لهرمون النمو، (الشكل رقم 158).



الشكل رقم (158): يوضح ألية عمل هرمون النمو

إضافة إلى ذلك هرمون النمو ينبه بقوة بانيات العظم Osteoblasts التي ترسب طبقات عظمية جديدة على العظم القديم، بينما تعمل كاسرات العظم Osteoclasts على إزالة العظم القديم، وعندما تكون سرعة الترسيب أكبر من سرعة الإزالة تزداد سماكة العظم.

يؤثر هرمون النمو في العظام الطويلة حتى نهاية سن المراهقة محرضاً نموها وازدياد طولها، كما يؤثر هرمون النمو في مستوى الغضاريف المشاشية Epiphyseal Cartilages فيولد هذا التأثير ترسيب غضروف جديد يتحول بعدها إلى عظم جديد. يتوقف تأثير هرمون النمو في هذه العظام في أواخر سن المراهقة بعد أن يتم اندماج عظمي بين جسم العظم وكل من المشاشتين النهائيتين.

أما في العظام الغشائية فتأثير هرمون النمو يستمر إلى ما بعد سن المراهقة لتصبح أكثر ثخانة، فتتبيه عظم الفك السفلي بعد سن المراهقة يسبب بروز عظم الذقن إلى الأمام، وأيضاً تنبيه عظم الجبهة يسبب بزيادة ثخانته وتوليد بروز عظمي فوق العينين.

أ- هرمون النمو وتأثيراته الاستقلابية:

1- تأثيره في البروتينات: يعمل هرمون النمو على زيادة معدل تصنيع البروتين في كل خلايا الجسم وذلك من خلال: تنشيط عملية انتقال الحموض الأمينية عبر الأغشية الخلوية وتنشيط عملية اصطناع البروتينات بواسطة الجسيمات الريبية.

2- تأثيره في الشحوم: يزيد من تحريك الحموض الدسمة من النسيج الشحمي ويعزز من استخدام الدسم كمصدر للطاقة نتيجة إعاقة دخول الغلوكوز إلى الأنسجة كالعضلات فيزداد تخزين الخلايا للغليكوجين مما يقلل من دخول الغلوكوز إلى الخلايا وزيادة تركيز الغلوكوز في الدم. بدليل المصاب بفرط إفراز هرمون النمو يصاب بداء السكري الكاذب.

نستنتج مما سبق أن هرمون النمو من الهرمونات الاستقلابية المهمة وذلك لتأمين النمو الطبيعي والمحافظة على الكتلة العضلية، بدليل المظاهر السريرية لعوز هرمون النمو عند البالغين تراكم الشحوم، ونقص تحمل الجهد، وجفاف الجلد، وعدم تحمل البرد.

ب- اضطرابات إفراز هرمون النمو:

ينتج عن الفرط في إفراز هرمون النمو في أثناء مرحلة الطفولة العملقة Gigantism وخلالها يزداد طول الشخص، ويزداد نمو الأعضاء الداخلية كالطحال

والكليتين والقلب والجهاز الهضمي، بينما تبقى الغدد التناسلية والأعضاء الجنسية الثانوية وكأنها في مرحلة الطفولة. أما إذا حدث الإفراط بإفراز هرمون النمو بعد مرحلة البلوغ فهذا يسبب في ما يسمى بضخامة النهايات Acromegaly، وخلالها يلاحظ ضخامة في عظام اليدين والقدمين وضخامة في العظام الغشائية للقحف مقدمة الجبهة، وضمور الأعضاء التناسلية.

بينما ينتج عن القصور في إفراز هرمون النمو في مرحلة الطفولة وقبل سن البلوغ القزامة Dwarfism، وفي هذه الحالة يتصف الفرد بقصر القامة وتأخر في البلوغ مع بقاء جميع الملكات العقلية عنده طبيعية.

2- هرمون البرولاكتين Prolactin. H:

يتكون البرولاكتين من سلسلة وحيدة من عديد الببتيد تحتوى 199 حمضاً أمينياً. تنتج الكمية الأكبر من هرمون البرولاكتين في الخلايا ألفا الموجودة في النخامة الأمامية النخامية، بينما تنتج كل من الغدد الثديية وبطانة الرحم هذا الهرمون بكميات قليلة.

يظهر هرمون البرولاكتين عدة تأثيرات حيوية في الجسم البشري أهمها:

أ-تحفيز الغدد الثديية على إنتاج الحليب: يلاحظ ارتفاع تركيز البرولاكتين في الدم في أثناء فترة الحمل مما يؤدي لتضخم الغدد الثديية وتهيئتها لانتاج الحليب اللازم للإرضاع، علماً ان هرمون البروجستيرون المفرز من المشيمة يمنع عملية إفراز الحليب من الثدي. وبعد الولادة وطرح المشيمة ينخفض تركيز البروجستيرون مما يساهم في بدء إفراز الحليب والقدرة على الإرضاع.

ب-منح الإحساس بالنشوة الجنسية بعد الجماع: هذا الهرمون يعاكس تأثير الدوبامين المسؤول عن الإثارة الجنسية في بداية الجماع، علماً أن التراكيز المرتفعة جداً من البرولاكتين عند الذكور تؤدي إلى فقدان الشهوة الجنسية.

يرتفع تركيز البرولاكتين في الدم عند الإناث الحوامل بدءاً من الأسبوع الخامس للحمل ويستمر إلى الولادة استجابة لارتفاع تركيز الأستروجين، وبعد الولادة تنخفض تراكيز هرمونات الأستروجين والبروجستيرون ولكن يبقى تركيز البرولاكتين مرتفعا بسبب عملية الإرضاع. ففي أثناء الرضاعة يقوم الرضيع بتحفيز المستقبلات الميكانيكية

الموجودة حول حلمة الثدي، وتقوم المستقبلات الميكانيكية بإرسال دفعات عصبية تحفيزية لمنطقة الوطاء والتي بدورها تحث النخامة الأمامية على متابعة انتاج البرولاكتين، (الشكل رقم 159). يقوم البرولاكتين خلال فترة الحمل والإرضاع بدور منشط ينبه تنامي غدد الثدي وإنتاج الحليب.

يتحرر البرولاكتين بتأثير الهرمون المحرر لهرمون البرولاكتين(PRH)، ويثبط إفرازه الهرمون المثبط للبرولاكتين (PRH) المفرزين من قبل الوطاء، وعندما ينشط أحدهما يثبط الآخر.



الشكل رقم (159): يوضح عملية تنظيم إنتاج البرولاكتين من قبل الفص الأمامي النخامي

3- **الهرمون الحاث لقشر الكظر Adrenocorticotropin .H (ACTH):**

ينظم هذا الهرمون إفراز بعض هرمونات قشر الكظر، والتي تؤثر بدورها في استقلاب السكريات والبروتينات والشحوم. يحرر ACTH بتأثير الهرمون المحرر للهرمون الموجه القشري Corticotrophin Releasing Hormone (CRH) المفرز من قبل الوطاء. وعندما يزداد مستوى الهرمونات القشرية السكرية يتناقص معدل إفراز الهرمون المنشط لقشر الكظر (ACTH) والهرمون المحرر للهرمون الموجه القشري (CRH).

4- الهرمون الحاث للدرق Thyroid Stimulating. H (TSH):

ينشط هذا الهرمون اصطناع وإفراز هرموني الغدة الدرقية (T3 – T4)، اللذين يتحكمان بمعدل الاستقلاب في الجسم. يحرر TSH بتأثير الهرمون المحرر للهرمون المنشط الدرقي Thyroid Releasing Hormone (TRH) الذي يفرزه الوطاء. وعندما يزداد معدل هرمون الدرق في الدم يتناقص معدل إفراز الهرمون المنشط للدرق TSH والهرمون المحرر للهرمون الدرقي TRH، (الشكل رقم 160).



الشكل رقم (160): يوضح تأثير الوطاء والنخامة الأمامية في الغدة الدرقية

5- الهرمون المنشط الجريبي Follicle Stimulating Hormone (FSH):

يكون تركيز الهرمون المنشط الجريبي في فترة الفعالية الجنسية أكبر خلال النصف الأول من الدورة الطمثية، بينما يكون منخفضاً أثناء الحمل ويزداد بشكل كبير بعد سن اليأس. ينشط (FSH) نمو جريب دوغراف في المبيض Ovaries، ويزيد من وزن المبيض. أما عند الذكور فإنه ينشط المراحل الأولى من تشكيل النطاف في الخصيتين Testes.

6- الهرمون المنشط اللوتئيني Luteinizing Hormone (LH):

يكون تركيز الهرمون المنشط اللوتئيني وخلال الدورة الطمثية مرتفعاً خلال المرحلة الأولى من الدورة، وتظهر له ذروة إفرازية قبيل الإباضة موافقة للذروة الإفرازية لـ (FSH). الهرمون المنشط اللوتئيني يحث على الإباضة Ovulation، ويساهم بتشكيل

الجسـم الأصـفر. كمـا يحـرض جريـب دوغـراف علـى إفـراز هرمـون الاسـتروجين Estrogen.H ويحرض الجسم الأصفر على إفراز هرمون البروجسترون Progeteron. H (الشكل رقم 161).

بينما يقتصر تأثير الهرمون المنشط اللوتئيني في الخصية على زيادة نمو خلايا ليدغ Leydig Cell وحثها على إفراز هرمون التستوستيرون Testosterone. H.



الشكل رقم (161): يوضح سيطرة الوطاء على مفرزات المبيض الجنسية

ثالثاً :الغدة الدرقية The Thyroid Gland

تتوضع الغدة الدرقية في العنق تحت الحنجرة Larynx وأمام الرغامى Trachea ويسبب هذا الموقع يمكن فحص الغدة الدرقية عن طريق جسها بالأصبع، بدليل انها تصبح بارزة عند حدوث أي خلل. والغدة الدرقية هي أكبر الغدد الصماء حيث تزن (20-25) غراماً، وتتألف من فصين يربط بينهما البرزخ الدرقي Isthmus الذي يتوضع تحت الغضروف الدرقي، (الشكل رقم 162).

تعد الغدة الدرقية من الأعضاء الغنية جداً بالتروية الدموية حيث يبلغ النتاج الدموي لكل فص منها حوالي (4-6) مل/دقيقة. يحيط بكل جريب شبكة من الأوعية الدموية تزود الخلايا الدرقية بالمواد المغذية والهرمونات المنظمة من جهة، وتتلقى إفرازات الخلايا الدرقية من هرمونات وفضلات ونواتج استقلابية لتنقلها إلى الدوران العام من جهة أخرى.



الشكل رقم (162): موقع الغدة الدرقية لدى الإنسان

1- البنية النسيجية للغدة الدرقية:

تتكون الغدة الدرقية حسب معطيات المجهر الضوئي من حويصلات أو جريبات متعددة (Follicles) تشبه الأكياس، قطر كل منها حوالي (200) ميكرون، يحد جدار الجريب طبقة من الخلايا الظهارية المكعبة المفرزة التي يختلف ارتفاعها حسب درجة نشاط الغدة (فهي مسطحة في حالة الراحة ومكعبة في حالة النشاط).

تحيط الخلايا الجريبية بلمعة واسعة تملؤها مادة غروية تدعى الغرواني Colloid الذي يشتمل بصورة أساسية على مركب يودي هو التيروغلوبولين Thyroglobulin الذي يتشكل من حمض أميني التيروزين.

وبين هذه الجريبات، تتوضع خلايا أكبر من سابقتها تسمى الخلايا C، (الشكل رقم 163). التي تفرز هرمون الكالسيتونين Calcitonin الذي يساعد في التحكم بمستوى الكالسيوم في المصورة الدموية.



الشكل (163): مقطع نسيجي في الغدة الدرقية يوضح الجريبات والخلايا C بين الجريبات

2- الهرمونات الدرقية Thyroid Hormone:

تركب الخلايا الجريبية في الغدة الدرقية هرمونين، التيروكسين (T_4) Thyroxin ويشكل حوالي 93% من الهرمونات الفعالة استقلابياً التي تفرزها الدرقية، وثلاثي يود التيرونين(T_3) Triiodothyronine ويشكل حوالي 7% منها.

ولكن في الأحوال الطبيعية يحول معظم التيروكسين إلى ثلاثي يود تيرونين في الأنسجة، ولهذا فإن كليهما مهم وظيفياً، وتعد وظائف الهرمونين نوعياً واحدة ولكنها تختلف في السرعة وشدة الفعل، فثلاثي يود التيرونين أشد فعالية بأربعة أضعاف من التيروكسين، لكن فترة تأثير التيروكسين أطول بـ أربع مرات من فترة تأثير ثلاثي يود التيرونين.

وتقوم الخلايا الجريبية بوظيفتين مهمتين:

أ–تركيب البروتين السكري المسمى بالتيروغلوبولين Thyroglobuline الذي يدخر في لمعة الجريبات على شكل غرواني.

ب–قنص اليود ونقله من الدم إلى الغرواني حيث يتم تركيب الهرمونات الدرقية.

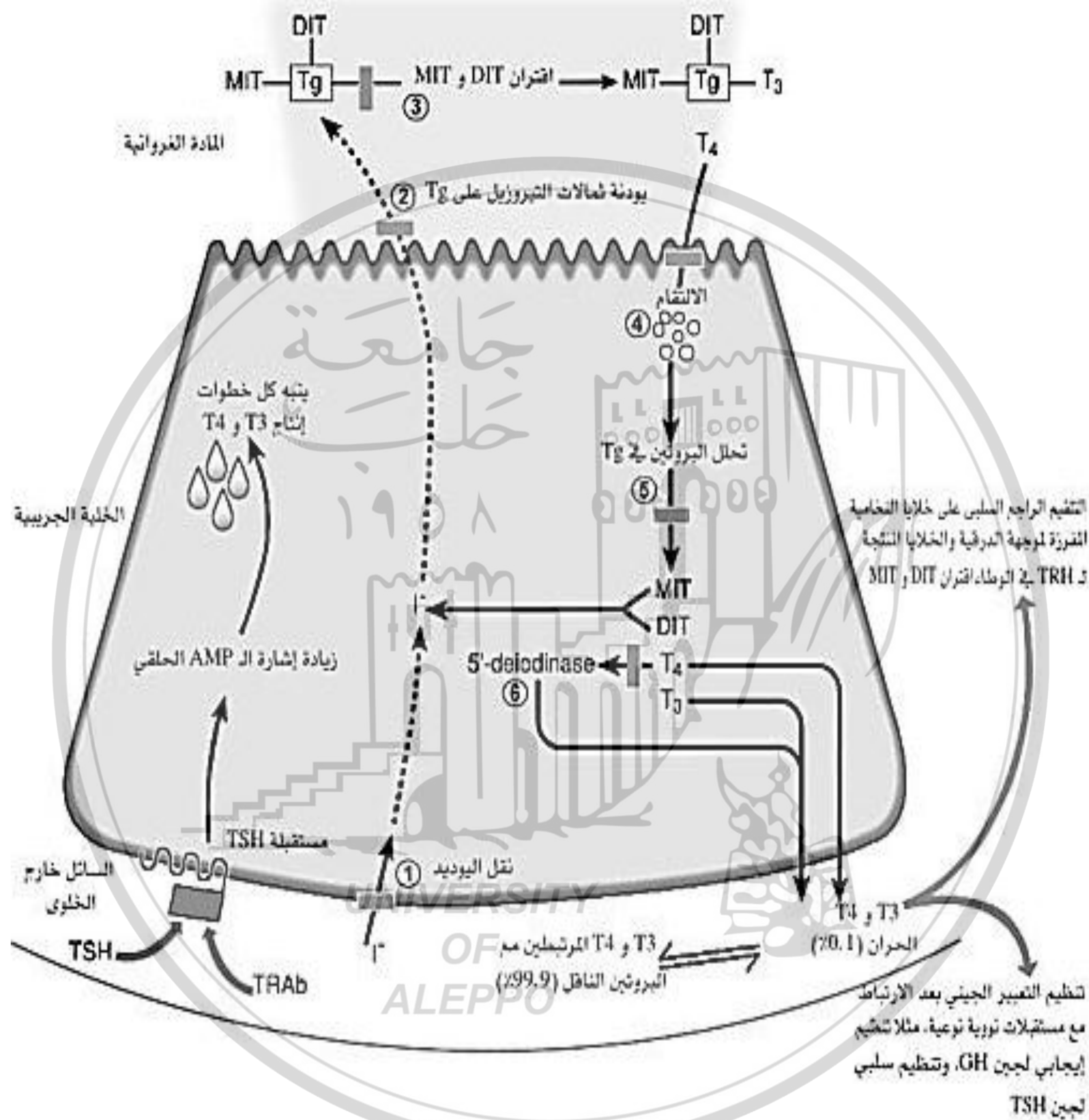
إن الخطوة الأولى في تشكيل الهرمونات الدرقية هي نقل اليوديدات Iodides من السائل خارج الخلايا إلى الخلايا الغدية الدرقية بآلية فعالة تدعى مضخة أو مصيدة اليود Iodide Trapping، وذلك لأن تركيز اليود ضمن الخلايا في الغدة الدرقية يكون أعلى بحوالي (50) مرة من تركيزه في المصورة الدموية.

وبعد عملية ضخ اليود تأتي المرحلة الثانية في تشكيل الهرمونات الدرقية وهي تحويل اليود بعد دخوله الخلية الدرقية إلى الشكل المؤكسد (يتحول إلى شاردة موجبة) الذي يكون عند ذلك قادراً على الارتباط مع التيروزين. وتتحرض أكسدة اليود بفعل أنزيم البيروكسيداز Peroxidases الذي يقع في الغشاء القمي أو ملتصقاً به. يرتبط اليود المؤكسد ببطء بالتيروزين بوجود أنزيم يوديناز Iodinase الذي يسرع عملية الارتباط.

فلذلك بمجرد تحرر الغلوبولين الدرقي من جهاز كولجي يرتبط اليود بالتيروزين ويتحول إلى التروزين الأحادي اليود، وعند ارتباط شاردتين يود بالتيروزين يتشكل التيروزين الثنائي اليود، وعند ارتباط جزيئتين من التيروزين ثنائي اليود يتشكل لدينا التيروكسين T_4.أما عند ارتباط جزيئة من التيروزين ثنائي اليود بجزيئة تيروزين الأحادي اليود يتشكل ثلاثي يود تيرونين T_3. بعد انتهاء مراحل تكوين الهرمونات الدرقية تخزن هذه الهرمونات ضمن البروتين الدرقي في الجريبات بكميات كافية لتزويد الجسم بحاجته السوية من الهرمونات الدرقية (حيث كل جزيء غلوبولين درقي يحوي 3 جزيئات من التيروكسين مقابل جزيئة واحدة من ثلاثي يود تيرونين)، (الشكل رقم 164).

وعند حاجة الجسم لهرمونات الغدة الدرقية كالتعرض للبرد مثلا تبدأ عملية تحرير التيروكسين ويود تيرونين من خلال ارسال السطح الخارجي للخلايا الدرقية أرجلاً كاذبة إلى الجوف الغرواني للجريبات وتطويق أجزاء صغيرة من الغرواني لتكون حويصلات احتسائية Pinocytic Vesicles تصل إلى قمة الخلية الدرقية. تندمج الجسيمات الحالة

مباشرة بهذه الحويصلات لتشكيل حويصلات هاضمة تحتوي على أنزيم البروتيناز. يقوم أنزيم البروتيناز بهضم جزئيات الغلوبولين الدرقي وتحرير التيروكسين وثلاثي يود تيرونين اللذين ينتشران عبر قاعدة الخلية الدرقية إلى الشعيرات الدموية المحيطة بها.



الشكل رقم (164): يوضح عملية تركيب الهرمونات الدرقية

بعد أن تفرز الهرمونات T_3-T_4 من الغدة الدرقية تنتقل إلى الأنسجة عبر الدم وهناك ترتبط ببروتينات المصورة وبشكل أساسي بالغلوبولين الرابط للتيروكسين Thyroxin Binding Globulin وبشكل أقل بالألبومين. وعند الدخول إلى الخلايا يرتبط كل من هذين الهرمونين بالبروتينات داخل الخلايا مرة أخرى، ويكون ارتباط التيروكسين

أقوى من ارتباط ثلاثي يود تيرونين، وبذلك يخزن الهرمونان داخل الخلايا الوظيفية ويجري استخدامهما ببطء خلال أيام أو أسابيع.

3- تنظيم الإفراز الدرقي:

يتأثر نشاط الغدة الدرقية بالعوامل التالية:

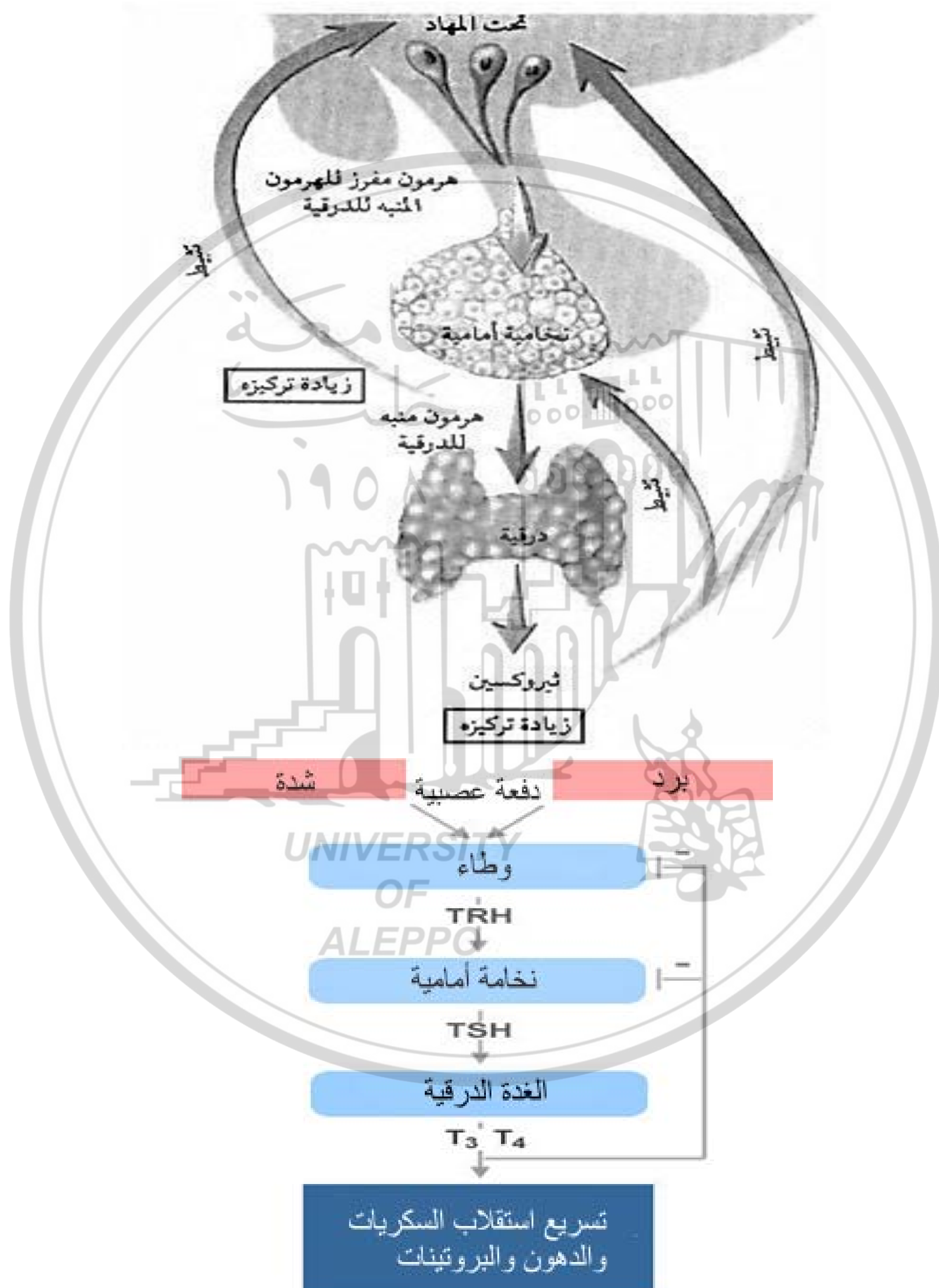
أ- الهرمون الحاث للدرق TSH: يتم التحكم بإفراز TSH من النخامة الأمامية بوساطة الهرمون المنبه الحاثة للدرق TRH الذي تفرزه النهايات العصبية في الوطاء استجابة للبرد أو للشدة النفسية، (الشكل رقم 165). ارتباط هذا الهرمون بمستقبلات نوعية موجودة على سطح خلايا النخامة الأمامية يفعل أنزيم أدينيل سيكلاز في غشاء الخلية الدرقية، الذي يحلمه ATP ويحوله إلى الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقيAMPc الذي يعمل كمرسال ثانٍ يفعل جميع آليات تشكيل وتحرير الهرمونات الدرقية (يزيد من تحلل بروتين الغلوبولين الدرقي، ويزيد فعالية مضخة اليوديد، ويزيد من يودنة التيروزين لتشكيل الهرمونات الدرقية، ويزيد من حجم وعدد الخلايا الدرقية). وعند زيادة معدل الهرمون الدرقي في سوائل الجسم يثبط إفراز TSH من النخامة الأمامية وينخفض مستوى الإفراز من الغدة الدرقية، ويتم ذلك عبر آلية التلقيم السلبي الراجع.

ب-كمية اليود التي يزود بها الجسم: اليود ضروري من أجل تصنيع الهرمونات الدرقية، فعند نقص اليود ينخفض نشاط الغدة الدرقية، ولكن بالمقابل عندما يرتفع تركيز اليود إلى مستويات عالية جداً فإن ذلك يثبط كل مراحل نشاط الغدة الدرقية، لذلك تعطى شوارد اليود لمدة (2-3) يوم قبل عملية استئصال الغدة الدرقية، للتقليل من حجمها وترويتها الدموية ولتقليل من كمية النزف الحاصل في أثناء الجراحة.

4-ألية تأثير الهرمونات الدرقية ووظائفها:

تؤثر الهرمونات الدرقية تقريباً في كل خلية في الجسم لأنها تعبر الغشاء الخلوي مباشرة، وتقوم داخل الخلية بالارتباط بالمستقبلات الملتصقة بخيوط DNA. تنشط هذه الخلايا عند ارتباطها بالهرمونات الدرقية وتبدأ عملية الانتساخ Transcription فتتكون إثر ذلك أعدادٌ كبيرة من مختلف أنواع RNA الرسول. ويتلو ذلك خلال بضع دقائق

ترجمة RNA الرسول على الجسيمات الريبة Cytoplasmic Ribosomes لتوليد مئات الأنواع من البروتينات الجديدة، وتكون النتيجة العامة لذلك زيادة شاملة في الفعاليات الوظيفية في كل أنحاء الجسم.



الشكل رقم (165): مخطط يوضح تأثير البرد والانفعالات

على الوطاء ودور الوطاء في تنشيط تركيب الهرمونات الدرقية

- تأثير الهرمونات الدرقية في الاستقلاب:

إن التأثير الأساسي للهرمونات الدرقية في الجسم هو زيادة معدل الاستقلاب من خلال تنشيط زيادة عدد الجسيمات الكوندرية ودرجة نشاطها، وهذا بدوره يزيد من سرعة تكوين الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP ليمد الخلايا بالطاقة. ففرط نشاط الغدة الدرقية يزيد من قيمة الاستقلاب الأساسي، بينما قصورها يؤدي إلى انخفاض معدل الاستقلاب الأساسي.

الهرمونات الدرقية تنبه كل نواحي استقلاب السكريات، فهي تسرع دخول الغلوكوز إلى الخلايا وتعزز تحلل الغليكوجين في الكبد والعضلات وتنشط جميع مراحل استقلاب الغلوكوز من مواد غير سكرية، بدليل ارتفاع نسبة السكر في الدم عند المصابين بفرط النشاط الدرقي. إضافة إلى ذلك الهرمونات الدرقية تساعد على استقلاب المواد الدسمة واستهلاك البروتينات، الأمر الذي يفسر انخفاض تركيز الكوليسترول في المصورة الدموية ونحافة العضلات الهيكلية ونقص وزن المصابين بفرط النشاط الدرقي.

كما تزيد الهرمونات الدرقية من سرعة نقل الصوديوم والبوتاسيوم عبر الغشاء الخلوي. ويعد التيروكسين ضرورياً في تحول البيتل كاروتين إلى فيتامين A، الذي يؤدي نقصه إلى ظهور مرض العشى الليلي.أيضا يسبب قصور الدرقية إلى ظهور أعراض فقر الدم بسبب نقص حاجة الأنسجة للأكسجين واضطراب امتصاص فيتامين B12.

- تأثير الهرمونات الدرقية في الجملة العصبية المركزية:

يزيد الهرمون الدرقي عملية نمو وتطور الدماغ خلال الحياة الجنينية وفي السنوات الأولى من الحياة، بدليل تأخر نمو الدماغ والنشاط العقلي وضياع في الذاكرة ونعاس مع بطء في التفكير والمحادثات والحركات نتيجة نقص الاستقلاب في النسيج العصبي في حالات قصور الدرقية، بينما يؤدي فرط النشاط الدرقي إلى زيادة في قابلية التنبه والحركات الأهتزازية والقلق والانفعال.

- تأثير الهرمونات الدرقية في الجلد:

يؤدي قصور الدرق إلى جفاف وتقشر الجلد وضمور الغدد الدهنية وتساقط الشعر وتقصف الأظافر مصحوباً بظهور انتباجات جلدية بسبب ارتشاح منطقة ما تحت الجلد بسوائل غنية جداً بالبروتينات المرتبطة بالسكريات المخاطية.

- تأثير الهرمونات الدرقية في الوظيفة العضلية:

تؤدي زيادة إفراز الهرمون الدرقي بمقدار زهيد إلى استجابة نشطة في العضلات نتيجة تفعيل المناطق المنظمة لتوتر العضلات في النخاع الشوكي. ولكن عندما تصبح الزيادة مفرطة تصاب العضلات بالتعب نتيجة فرط تقوض البروتينات، بينما نقص الهرمون الدرقي يجعل العضلات كسولة وترخي ببطء بعد التقلص.

- تأثير الهرمونات الدرقية في النوم:

يعاني مريض فرط الدرقية بالإحساس بالتعب المستمر نتيجة تأثير الهرمونات في العضلات والجهاز العصبي المركزي. ولكن تأثير هذه الهرمونات المثيرة للمشابك تجعل قدرة المصاب على النوم ضعيفة. وعلى النقيض يعد النعاس Somnolence أحد أعراض قصور الدرقية، إذ يمكن للمصاب أن ينام حتى (14) ساعة في اليوم.

- تأثير الهرمونات الدرقية في الجملة القلبية الوعائية:

فرط النشاط الدرقي يزيد من تواتر النظم القلبي ويؤدي إلى زيادة نتاج القلب وزيادة الجريان الدموي، وينجم عن هذه التأثيرات توسع وعائي في معظم أنسجة الجسم ولاسيما في الجلد نتيجة ازدياد الحاجة إلى طرح الحرارة ، في حين يتضخم القلب ويتباطأ في حالات قصور الدرق.

- تأثير الهرمونات الدرقية في التنفس:

إن زيادة معدلات الاستقلاب تزيد معدل استهلاك الأوكسجين وتشكيل CO_2، مما يؤدي إلى تنشيط الآليات كلها التي تزيد سرعة التنفس وعمقه.

- تأثير الهرمونات الدرقية في الوظيفة الهضمية:

يسبب فرط النشاط الدرقي زيادة الشهية للطعام والاصابة بالإسهالات، بينما المصابون بالقصور الدرقي تنقص عندهم الشهية وتظهر لديهم أعراض الإمساك .

- تأثير الهرمونات الدرقية في معدل النمو:

تعد هرمونات الغدة الدرقية ضرورية للنمو الطبيعي للأطفال، بدليل تأخر سرعة النمو لدرجة كبيرة لدى الأطفال قاصري الدرقية Hypothyroid، في حين يحدث نمو هيكلي مفرط لدى الأطفال مفرطي الدرقية Hyperthyroid.

- تأثير الهرمونات الدرقية في توليد الحرارة:

تساهم الهرمونات الدرقية وعن طريق زيادة معدل الاستقلاب الهدمي في انتاج المزيد من الطاقة الحيوية في معظم أنسجة الجسم (ما عدا الدماغ والرئتين والطحال والأعضاء التناسلية)، وقسم من هذه الطاقة يضيع على شكل حرارة يساهم في زيادة حرارة الجسم ولاسيما في الطقس البارد مما يساعد على التكيف مع البرد.

5- اضطرابات الغدة الدرقية:

إن الانتاج الطبيعي للهرمونات الدرقية يؤمن مستوى ثابتاً ومنظماً من معدلات الاستقلاب الخلوي، ويظهر تأثير هذه الهرمونات في النسج والأعضاء النشيطة استقلابياً بما فيها العضلات الهيكلية والكبد والكلى.



الشكل رقم (166): صورة لشخص مصاب بالفدامة Cretinism

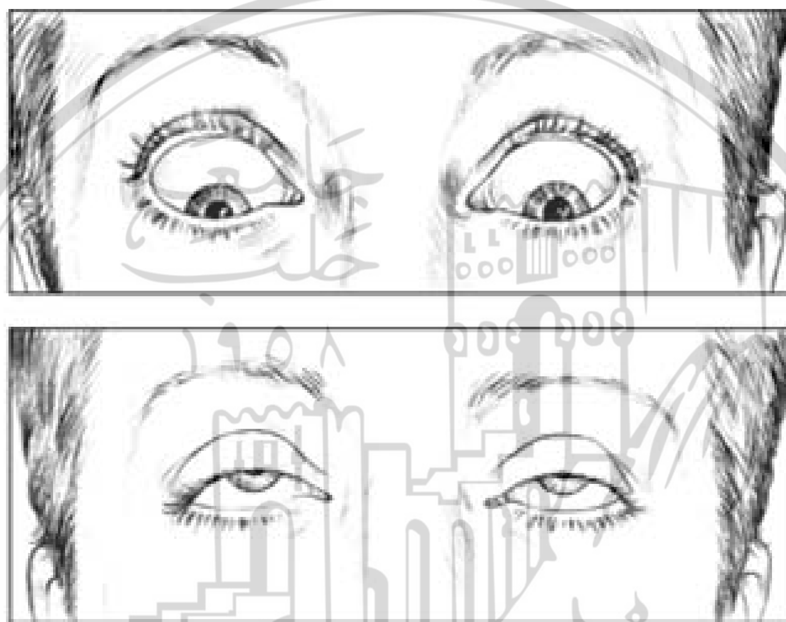
أ قصور نشاط الغدة الدرقية Hypothyroidism:

ويشكل عند الأطفال والرضع حالة تدعى بالفدامة Cretinism، (الشكل رقم 166).

تنتج الفدامة إما عن غياب خلقي للغدة الدرقية أو عن خلل في نموها وتتظاهر بتخلف بالنمو العقلي والجسمي مع تجفاف وتضخم اللسان وغلاظة الشفتين وسيلان اللعاب. إضافة إلى ذلك يزداد إحساس المصاب بالبرد بسبب نقص معدل الاستقلاب الأساسي ويكون غير قادر على التكيف مع الحرارة المنخفضة، كما يوقف النضج الجنسي ويصاب الشخص بالعقم.

وتدعى حالات قصور الدرق عند البالغين باسم الوذمة المخاطية Myxedema والتي تتظاهر بجفاف في الجلد وقلة الشعر ونقص في النشاط العقلي والجسمي، كما تؤدي إلي زيادة في وزن الجسم لدرجة السمنة المفرطة وهبوط في مستوى الاستقلاب وعدم تحمل البرد. كما يتعب الشخص المصاب بسرعة وتتباطأ ضربات قلبه وينخفض عنده الضغط الشرياني.

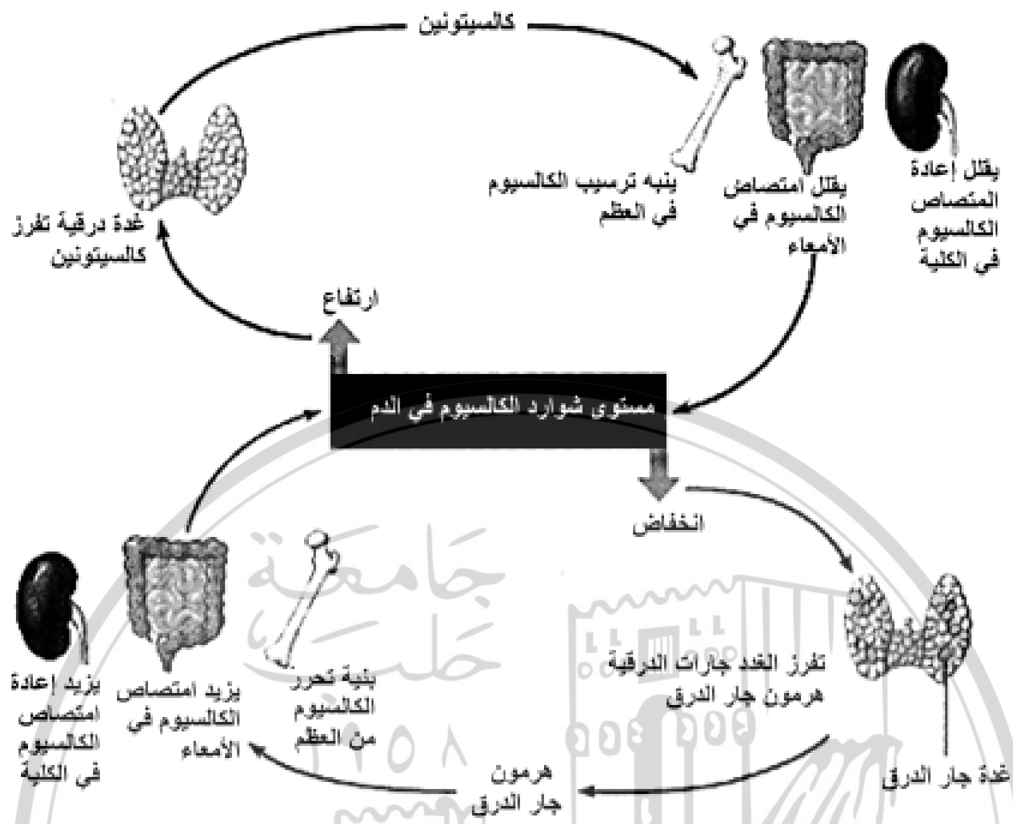
ب–فرط نشاط الغدة الدرقية Hyperthyroidism: يسمى فرط النشاط الدرقي بالتسمم الدرقي Thyrotoxicosis. ويرافق فرط النشاط الدرقي ارتفاع معدل الاستقلاب الأساسي وزيادة في معدل امتصاص الغلوكوز في الأمعاء وزيادة في معدل صنع الغلوكوز من مواد غير سكرية وبالتالي زيادة معدل السكر في الدم. إضافة إلى ذلك يلاحظ جحوظ العين Exophthalmos (الشكل رقم 167) والإصابة بالإسهالات Diarrhea.



الشكل رقم (167): يوضح صورة لامرأة مصابة بالجحوظ الدرقي

6- الخلايا C المفرزة للكالسيتونين Calcitonin:

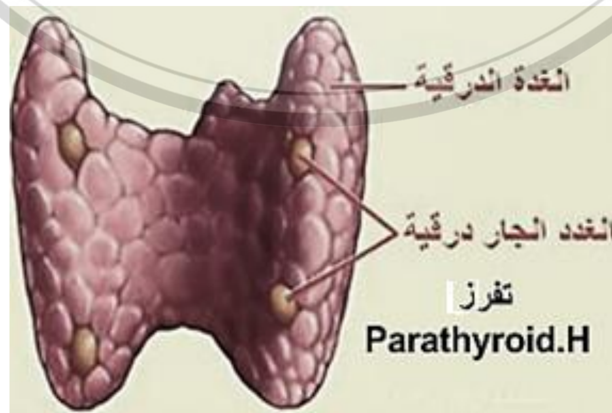
الكالسيتونين هرمون ببتيدي تفرزه الخلايا C المتوضعة بين الجريبات ضمن الغدة الدرقية. إن عملية تنظيم تحرر الكالسيتونين من الخلايا C تتم بآلية التغذية الراجعة السلبية، ذلك أن زيادة تركيز شوارد الكالسيوم في مصورة الدم ينبه الخلايا C ويدفعها إلى إنتاج وتحرر الكالسيتونين. وظيفة الكالسيتونين تخفيض مستوى الكالسيوم في المصورة من خلال تنشيط بانيات العظم Osteoblasts وتثبيط كاسرات العظم Osteoclasts من جهة، وتثبيط تحرر الهرمون المجاور للدرق، وتثبيط عملية امتصاص الكالسيوم في سوية الأمعاء وتنشيط طرح شوارد الكالسيوم في سوية النبيب القاصي في الكلية، (الشكل رقم 168).



الشكل رقم(168) آلية تنظيم إفراز هرمون الكالسيتونين وجار الدرق

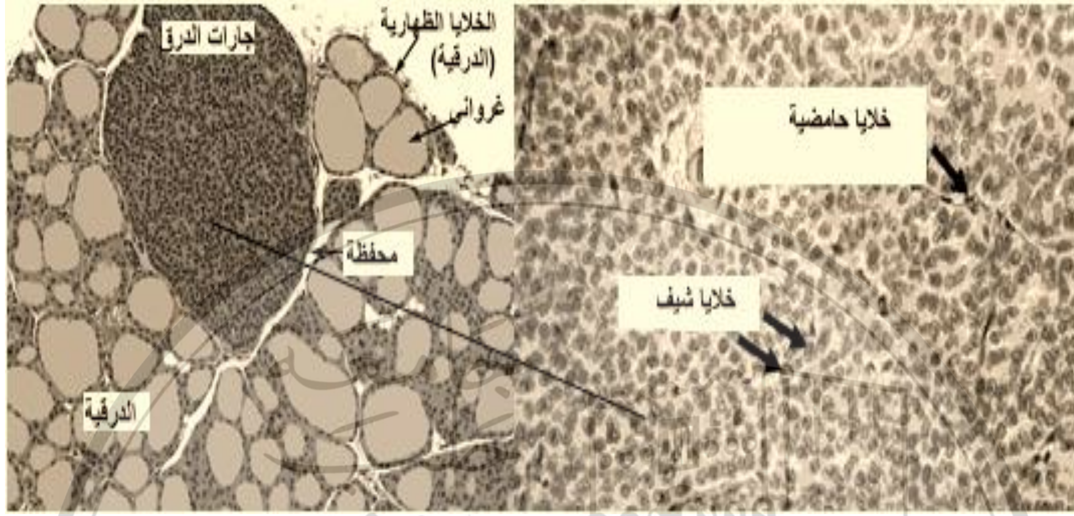
رابعاً: الغدد جارات الدرق (الدريقات) The Parathyroid Glands :

الغدد جارات الدرق (الدريقات) هي مجموع أربع غدد صغيرة تقع خلف الغدة الدرقية، ويتوضع كل منها خلف الأقطاب العلوية والسفلية للغدة الدرقية، ويبلغ وزن كل منها ما يقارب (0.1) g . وتبدو الغدد جارات الدرق ذات مظهر دهني ولون بني غامق، (الشكل رقم 169).



الشكل رقم (169): الغدد جارات الدرق

تتألف الغدد جارات الدرق نسيجياً من كتل وحبال من الخلايا الظهارية تدعمها شبكة من الألياف الشبكية. وتصنف الخلايا الظهارية المكونة للغدد جارات الدرق إلى نوعين من الخلايا ، (الشكل رقم 170).



أ-مقطع نسيجي في الغدة الدرقية وجارات الدرق

ب-مقطع نسيجي في جارات الدرق يظهر الخلايا شيف المفرزة لهرمون باراتيروئيد

الشكل رقم(170)

- خلايا حامضية :Oxyphil Cells سيتوبلاسماها غنية بالحبيبات الولوعة بالملونات الحامضية ونواها مكثفة وعددها يزداد مع العمر، أما وظيفتها فهي غير معروفة حتى الآن.
- خلايا أساسية Chief Cells: وهي الأكثر أهمية، وظيفتها تشكيل هرمون جار الدرق Parathyroid Hormone، الذي يمارس تأثيراته على تركيز الكالسيوم والفوسفات في السائل خارج الخلوي، لذلك يفرز استجابة لنقص الكالسيوم وزيادة الفوسفات في مصورة الدم.

1- شوارد الكالسيوم:

يملك الإنسان ما يقارب من (1.1 – 1.2) Kg من الكالسيوم في جسمه موزعة على الشكل التالي:

- 98.9% توجد في العظام.
- 1 % توجد ضمن الخلايا العضلية.
- 0.1% توجد في السائل الخلالي.

يوجد الكالسيوم في المصورة بنسبة دقيقة جداً (9.4) ملغ/ل توزع على الشكل التالي:

أ- 50 % مرتبط ببروتينات المصورة غير القادرة على العبور من خلال الشعريات الدموية.

ب- 5% مرتبط بمواد سالبة الشحنة (البيكربونات – الفوسفات) وهذا الشكل قادر على العبور من خلال الشعريات الدموية ولكن غير قابل للتشرد.

ج- 45% يكون على شكل شوارد قابلة للعبور من خلال الشعريات الدموية وقابل للتشرد. وهذا الشكل هو الشكل الفعال فيزيولوجياً من خلال تأثيره في (القلب – تشكل العظام – الجهاز العصبي – تخثر الدم).

يتم امتصاص الكالسيوم عبر القناة الهضمية حيث يبلغ معدل الدخول الطبيعي اليومي للكالسيوم إلى الجهاز الهضمي حوالي (1000) ملغ، يمتص منها فقط 35% أما الباقي فيتم طرحه عبر البراز وعبر العصارات الهاضمة وعبر النبيب القاصي الكلوي بعد أن يعاد امتصاص الكالسيوم في سوية النبيب الداني الكلوي بنسبة 99%. وللكالسيوم تأثيرات عديدة داخل الجسم:

أ- تأثيره في إثارة الخلايا: فعند زيادة شوارد الكالسيوم في السوائل الخلاليه تقل نفوذية الأغشية الخلوية لشوارد الصوديوم مما يؤدي إلى فرط استقطاب الخلايا، وعلى العكس عند انخفاض شوارد الكالسيوم في السوائل الخلاليه تزداد نفوذية الأغشية الخلوية لشوارد الصوديوم مما يؤدي إلى نزع استقطاب الخلايا وإثارة الخلايا.

ب- يلعب دوراً في عملية تخثر الدم: يؤدي نقصانه في مصورة الدم إلى إطالة زمن التخثر.

ج- يلعب دوراً في تشكل العظام: نقصانه يسبب هشاشيه العظام وزيادته تسبب زيادة صلابة العظام وسهولة كسرها.

2- شوارد الفوسفات اللاعضوية:

ترتبط شوارد الفوسفات اللاعضوية الموجودة في الجسم ارتباطاً وثيقاً بالكالسيوم، ويكون تركيزها في المصورة حوالي(4) ملغ/ل. تلعب شوارد الفوسفات اللاعضوية دوراً مهماً في عملية تشكيل العظام والأسنان وتساهم في عملية تنظيم PH الجسم.

توجد علاقة شبه ثابتة بين معدل شوارد الكالسيوم وشوارد الفوسفات اللاعضوية في المصورة، فعند زيادة إحداها يحدث نقصان في الأخرى.

3- فيتامين D:

فيتامين D بحد ذاته غير فعال فهو عبارة عن مركب كولي كالسيفرول، ويمكن الحصول عليه من المواد الغذائية وعن طريق التعرض للشمس حيث يتم انتاجه في مستوى الجلد. على كل حال يتحول مركب كولي كالسيفرول في الكبد إلى مركب آخر هو 25- هيدروكسي كولي كالسيفرول، والذي يتحول بدوره في مستوى النبيب الداني الكلوي وبوجود هرمون جار الدرق PTH إلى مركب 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول (كالسيتروئيل)، وهو الشكل الفعال لفيتامين D.

يلعب فيتامين D دوراً مهماً في تنظيم مستوى الكالسيوم في المصورة وذلك من خلال تنشيط عملية امتصاص شوارد الكالسيوم والفوسفات من الأمعاء، والتقليل من طرح الشاردتين عن طريق الكلية وزيادة معدل ارتشاف العظم وانتقال شوارد الكالسيوم والفوسفات إلى المصورة.

4- **تنظيم إفراز هرمون جارات الدرق:**

هرمون جارات الدرق هو هرمون متعدد الببتيد يتكون من 84 حمضاً أمينياً، لا يخضع إفرازه لإشراف الجملة العصبية المركزية أو النخامة الأمامية، وإنما يخضع لعملية التغذية السلبية الراجعة،(الشكل رقم 170) فعند انخفاض نسبة الكالسيوم في المصورة إلى ما دون الحد الطبيعي تفرز جارات الدرق هرمونها الذي يعمل على رفع تركيز شوارد الكالسيوم في سوائل الجسم من خلال تنشيط كاسرات العظم وتخفيض نسبة الكالسيوم المطروحة مع البول. ويزداد إفراز جارات الدرق لهرمونها وتتضخم لدرجة كبيرة عند استمرار نقص تركيز الكالسيوم كما في مرض الكساح Rickets، وفي أثناء الحمل والإرضاع عند السيدات. أما في حال عند ارتفاع تركيز الكالسيوم في مصورة الدم بسبب زيادة نسبة الكالسيوم وفيتامين D في الغذاء، تخفض جارات الدرق إفرازها لهرمونها ويصغر حجمها.

5- التأثيرات الفيزيولوجية لهرمون جارات الدرق:

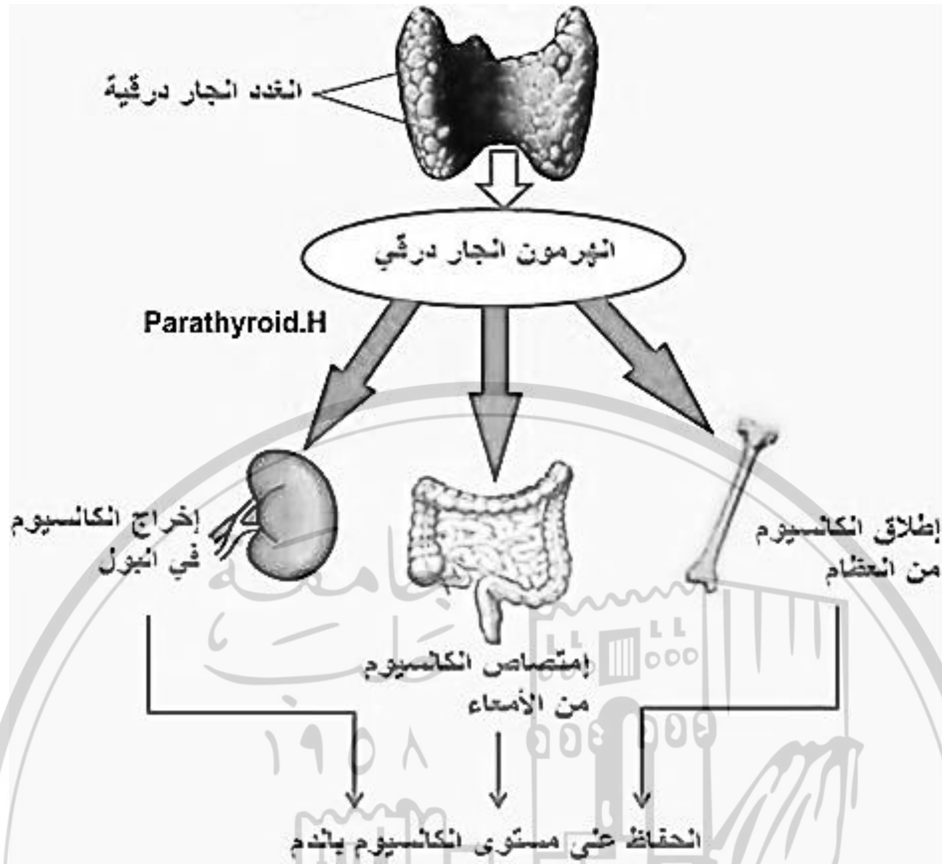
يؤمن هرمون جارات الدرق بالإضافة لفيتامين D و الكالسيتونين استتباب التوازن الكلسي- الفوسفوري من خلال تأثيره في الأعضاء التالية، (الشكل رقم 171):

أ- تأثير هرمون جار الدرق في العظام: يتمتع هرمون جار الدرق PTH بتأثيرين منفصلين في العظام لإحداث ارتشاف الكالسيوم والفوسفات. الطور الأول سريع يحدث في غضون دقائق، ربما ينتج عن تفعيل الخلايا العظمية الموجودة مسبقاً لتحريض ارتشاف الكالسيوم والفوسفات. حيث يؤثر هرمون جار الدرق عن طريق ارتباطه بمستقبلات في أغشية الخلايا بانية العظم فينتج عن ذلك تنشيط مضخة الكالسيوم التي تعمل على إزالة سريعة لأملاح فوسفات الكالسيوم من بلورات العظم عديمة الشكل التي توجد بالقرب من الخلايا بانية العظم. أما الطور الثاني فهو أبطأ ويحتاج إلى عدة أيام أو أسابيع ليحدث بشكل كامل، وهو ينجم عن تكاثر كاسرات العظم ثم الزيادة الكبيرة لعودة ارتشاف العظم ذاته وليس فقط ارتشاف أملاح فوسفات الكالسيوم من العظم. لذلك يؤدي إعطاء هرمون جار الدرق لفترة طويلة من الزمن إلى ارتشاف واضح في كل العظام مع تولد كهوف كبيرة ممتلئة بكاسرات عظم كبيرة متعددة النوى.

ب- تأثير هرمون جار الدرق في الكلية: يؤدي إعطاء هرمون جار الدرق PTH إلى زيادة عودة امتصاص شوارد الكالسيوم في سوية النبيب القاصي والقناة الجامعة مما يقلل من عملية طرح الكالسيوم في البول.

تخضع المواقع الناقلة للصوديوم والكالسيوم والواقعة في النبيب القاصي الكلوي Distal Renal Tubule لتأثير زيادة امتصاص الكالسيوم، أما تأثير الهرمون جار الدرق في الفوسفات فيكمن في تثبيطه لنقل الفوسفات في موقعين مختلفتين أحدهما في النبيب القاصي والآخر في النبيب الداني الكلوي، مما يقلل من تركيز الفوسفات مقابل زيادة تركيز الكالسيوم في مصورة الدم.

ج- تأثير هرمون جار الدرق في جهاز الهضم: ينشط هرمون جارات الدرق وبطريقة غير مباشرة تشكيل 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول في الكلية، الذي ينشط عملية امتصاص كل من شوارد الكالسيوم وشوارد الفوسفات في مستوى الأمعاء.



الشكل رقم (171): يوضح دور هرمون جار الدرق في استتباب التوازن الكلسي – الفوسفوري

6- اضطرابات وظائف الغدد جارات الدرق:

عندما تفرز الغدد جارات الدرق كميات غير كافية أو كميات زائدة من هرمون جار الدرق PTH، يصبح تركيز الكالسيوم خارجاً عن حدود الاستتباب.

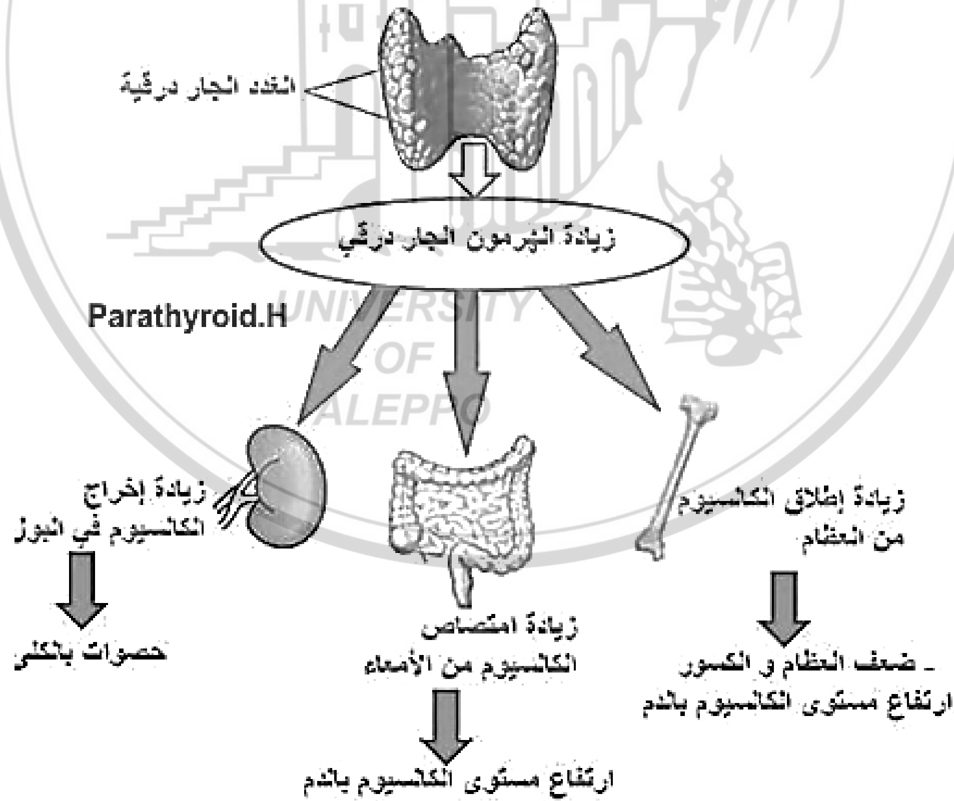
وتدعى حالات نقص إنتاج هرمون جار الدرق بالقصور جار الدريقي hypoparathyroidism، والتي تؤدي إلى نقص تركيز الكالسيوم في سوائل الجسم بسبب تثبيط كاسرات العظم وتثبيط إعادة امتصاص الكالسيوم في النبيبات الكلوية.

تبدو أعراض نقص هرمون جار الدرق بانخفاض تركيز شوارد الكالسيوم التي تؤدي إلى انخفاض عتبة تحريض الألياف العصبية مما يؤدي إلى زيادة التقلصات العضلية (التكزز). وتشكل ظاهرة التكزز أهم العلامات السريرية لنقص هرمون جار الدرق، وتتجلى هذه الظاهرة بخدر ونمل في النهايات وتشنج عضلي وتشنج رسغ اليد والقدم، (الشكل رقم 172).



الشكل رقم (172): التشنج الرسغي

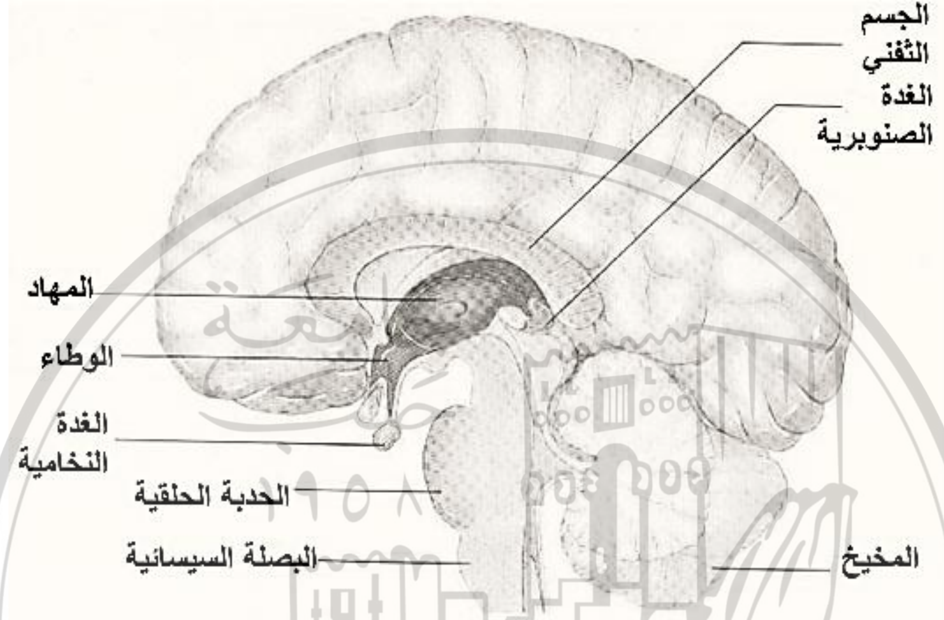
وتدعى حالات فرط إنتاج هرمون جارات الدرق بفرط النشاط جار الدريقي hyperparathyroidism، (الشكل رقم 173)، الذي يؤدي إلى رفع مستوى تركيز شاردة الكالسيوم إلى (125) ملغ /دل، مما يؤدي إلى تثبيط وظائف الجملة العصبية وهشاشيه العظام. كما تصبح العضلات الهيكلية ضعيفة ويزداد تركيز الفوسفات في المصورة، لأن الكليتين لا تتمكنان من إفراغ كل الفوسفات الذي يرتشف من العظام مما يؤدي إلى الميل لتشكيل الحصيات الكلسية. إضافة لذلك يحدث نتيجة فرط جارات الدرق إمساك وقرحة هضمية ونقص بالشهية.



الشكل رقم (173): فرط نشاط هرمون جارات الدرق

خامساً: الغدة الصنوبرية The Pineal Gland

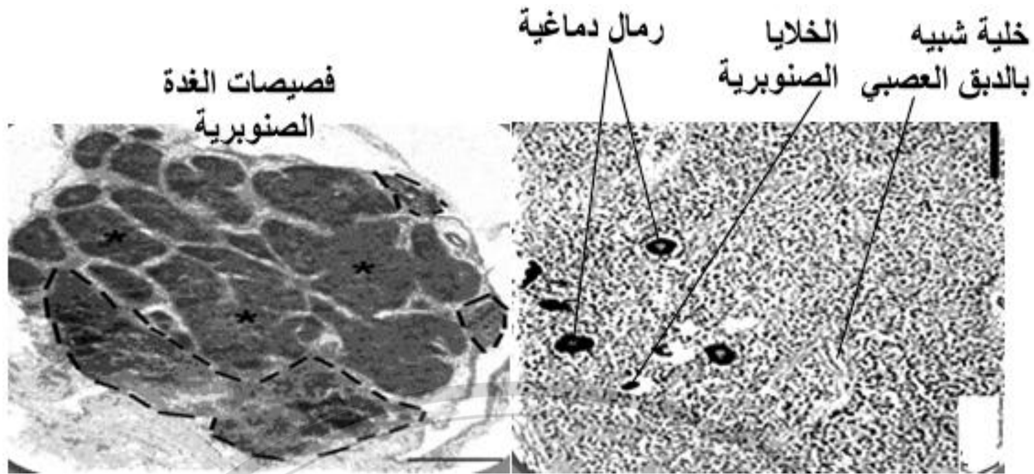
تقع الغدة الصنوبرية في الدماغ، في الجزء الخلفي من سقف البطين الثالث فوق الحدبات التوأمية الأربع، (الشكل رقم 174).



الشكل رقم (174): موقع الغدة الصنوبرية

يغلف الغدة الصنوبرية غشاء رقيق غزير الأوعية الدموية من الأم الحنون يشكل محفظة رقيقة ترسل نحو الداخل حواجز تقسم الغدة إلى فصيصات غير تامة. وتتألف الغدة الصنوبرية من خلايا غدية شبه ظهارية مفرزة تدعى بالخلايا الصنوبرية Pineal Ocytes وخلايا دبقية نجمية الشكل Neurologic.C. بالإضافة إلى عدد كبير من الألياف بعد العقدية الودية التي تنشأ من الخلايا المتوضعة في العقدة العنقية العليا. الخلايا الصنوبرية صعبة التمييز في المحضرات النسيجية العادية، ويمكن مشاهدتها بشكل جيد بعد معالجتها بأملاح الفضة، ومع تقدم العمر تتنكس وتتشكل تكتلات متصلبة تدعى الرمال الدماغية، (الشكل رقم 175).

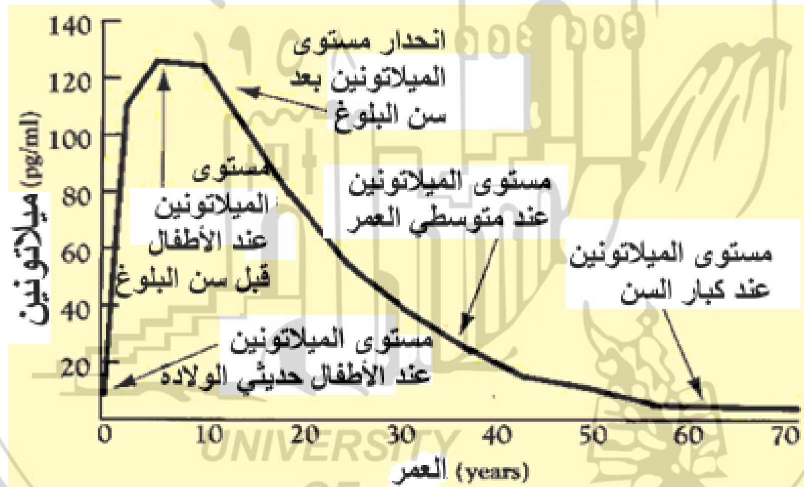
تبلغ الغدة الصنوبرية نموها الكامل في السنة السابعة من العمر إذ يتراوح وزنها حوالي (175) ملي غرام، ويتناقص الوزن مع تقدم العمر حيث يلاحظ ضمور شبه كلي في سن السابعة عشرة من العمر مترافقاً مع انخفاض في إفراز هرمون الميلاتونين الذي تفرزه هذه الغدة، (الشكل رقم 176).



مقطع نسيجي في الغدة الصنوبرية يظهر الفصيصات

مقطع نسيجي في إحدى فصيصات الغدة الصنوبرية يظهر الخلايا الصنوبرية والرمال الدماغية

الشكل رقم (175)



الشكل رقم (176): انحدار إفراز الميلاتونين مع تقدم العمر

تركب الخلايا الصنوبرية هرمون الميلاتونين Melatonin اعتباراً من جزئيات الناقل العصبي السيروتونين Serotonin، علماً بأن هذه العملية تتأثر بالضوء، بدليل انخفاض معدل الميلاتونين في ساعات النهار وارتفاعه في ساعات الليل، وذلك عن طريق وصول الضوء إليه عبر الألياف العصبية الممتدة إليها من شبكية العين.

أما وظيفياً، يقوم الميلاتونين بالعديد من الوظائف نذكر منها:

أ- في العديد من الثديات، يقوم الميلاتونين بإبطاء نضوج النطاف والبيوض والأعضاء التناسلية عن طريق تخفيض معدل إفراز الهرمون المحرر للهرمون المنشط المنسلي

(Gn.R.H) من النخامة الأمامية. فعلى سبيل المثال، ينحدر مستوى الميلاتونين في الدم مع الوصول إلى فترة البلوغ، بدليل إن استئصال الغدة الصنوبرية عند الفأرة يؤدي إلى تحريض النضج الجنسي وضخامة المبيض. إضافة إلى ذلك الميلاتونين قد يؤثر في وظيفة الجهاز التناسلي في الإنسان، حيث لوحظ وجود تراكيز عالية غير طبيعية من الميلاتونين في بلازما المرضى المصابين بنقص فعالية الغدد التناسلية الناتج عن الوطاء. وهناك بعض الأطفال المتأخرين في البلوغ الجنسي يظهرون تراكيز عالية من الميلاتونين في مصورة الدم، في حين أن تراكيز الميلاتونين تكون منخفضة في الحالات التي تظهر بلوغاً جنسياً مبكراً.

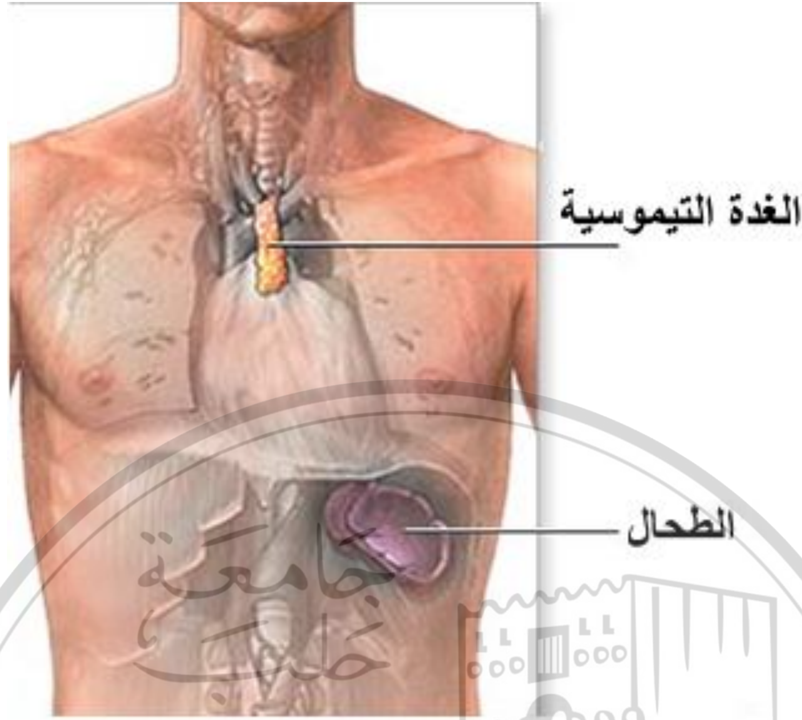
ب- يعد الميلاتونين مضاد أكسدة فعالاً يساعد في حماية الجملة العصبية المركزية من بعض الجذور الكيميائية السامة مثل NO أو H_2O_2 التي يمكن أن تنتج في النسيج العصبي النشيط، فهو إذاً من الهرمونات المضادة للشيخوخة.

ج - أدرك الباحثون مؤخراً دور هرمون الميلاتونين في السيطرة الفيزيولوجية على شهية الغذاء والفعاليات الاستقلابية في الجسم. وقد وجد أن هناك تناسباً عكسياً بين نسبة هرمون الميلاتونين وفترة النهار، حيث تزداد كمية الملايتونين بنقص فترة النهار، الأمر الذي يؤثر في الشهية وبالتالي زيادة الوزن.

سادساً: الغدة التيموسية The Thymus Gland

تقع الغدة التيموسية خلف القص على الخط المنصف للمنطقة الصدرية، وتمتد من قاعدة العنق إلى الجزء العلوي من القلب، (الشكل رقم 177). وللغدة التيموسية لون وردي وشكل حبيبي.

وتتباين الغدة التيموسية بالحجم والنمو تبعاً لعمر الفرد، حيث تزن عند حديثي الولادة(15) غ ثم يزداد وزنها وحجمها خلال مرحلة الطفولة لتبلغ حجمها النهائي قبل البلوغ، حيث يبلغ وزنها عندئذٍ (110) غ ، ثم يتناقص حجمها بعد البلوغ، حيث يصبح وزنها في عمر الخمسين أقل من (12) غ . ويعتقد أن تناقص الحجم وتناقص الإفراز التدريجي في الغدة التيموسية قد يجعل كبار السن أكثر عرضة واستعدادا للإصابة بالمرض.



الشكل رقم (177): موقع الغدة التيموسية

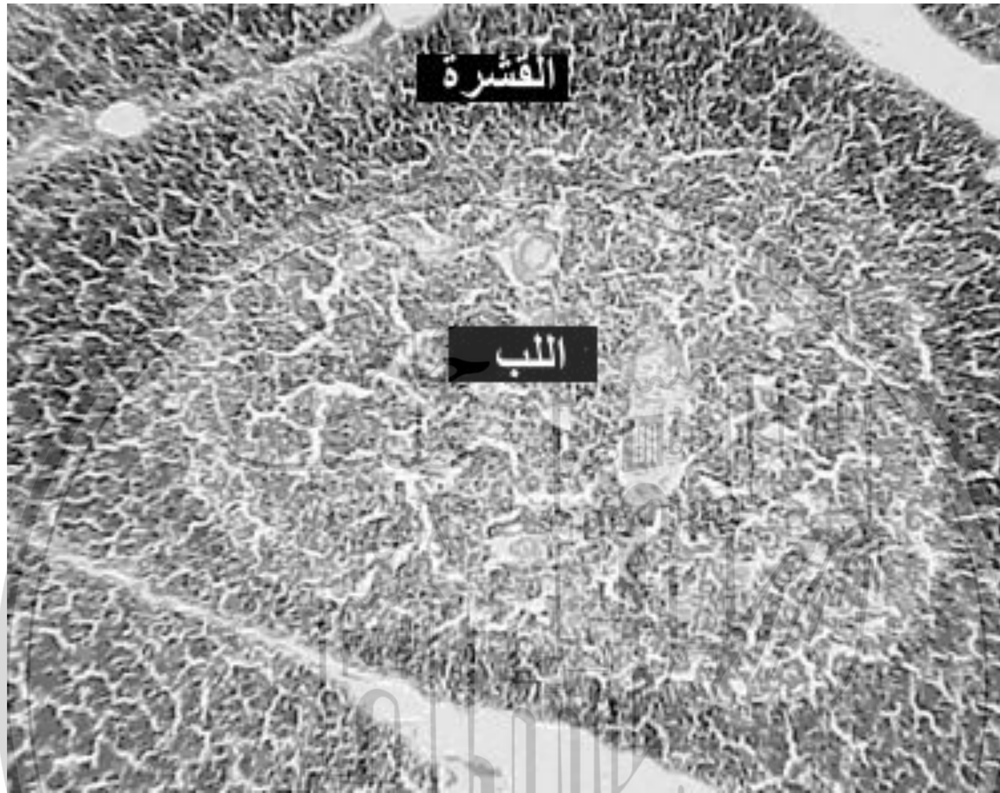
تتألف الغدة التيموسية من الناحية النسيجية من فصين يفصل بينهما حاجز من النسيج الضام، ويحيط بالفصين محفظة ترسل حجب تقسم كل فص إلى ألاف الفصيصات.

يتألف كل فصيص من جزء محيطي قاتم اللون، يتكون من خلايا لمفاوية Lymphoegtes. C صغيرة تلتصق بعضها بالبعض الآخر مع الخلايا الشبكية الظهارية Reticular Epithelial. C يدعى القشرة، ومن جزء مركزي يحتل مركز الفصيص فيبدو نيراً ويتكون من خلايا لمفاوية قليلة العدد وعدد كبير من الخلايا الشبكية الظهارية ويدعى اللبMedulla .

ومع تقدم العمر وبعد سن البلوغ يحدث في اللب استبدال الخلايا الشبكية الظهارية بتشكيلات كروية تدعى جسيمات هاسال Corpuscles Hassal واستبدال الخلايا اللمفاوية بالنسيج الدهني، (الشكل رقم 178).

تفرز الخلايا الظهارية الشبكية هرمون ببتيدي ذو وزن جزئي منخفض يدعى هرمون التيموزين Thymosin. H. وهرمون التيموزين يمارس تأثيراً محفزاً للمناعة الخلوية

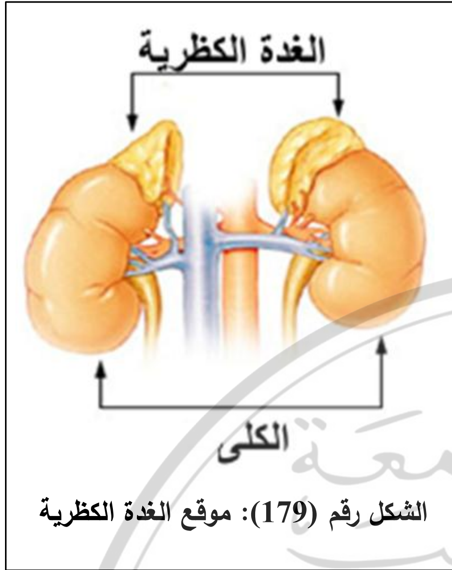
مـن خـلال تنشـيطه لعمليـة تشـكل اللمفاويـات التائيـة وتعزيـزه لفعاليـة اللمفاويـات وانتـاج الأنترلوكين(6) من الخلايا البلعمية. كما يملك التيموزين تأثيراً منشطاً لإفراز الهرمونات المطلقة لهرمون الجسم الأصفر والهرمونات المنسلية من قبل الغدة النخامية.



الشكل رقم (178): مقطع نسيجي في الغدة التيموسية يظهر الفصيصات وجسيمات هاسال

وقد أثبتت الدراسات والأبحاث العلمية أن الغدة التيموسية تمارس تأثيراً هرمونياً في الأنسجة اللمفية في الجسم وخصوصاً فيما يتعلق بالتحريض على انتاج الخلايا اللمفية التائية وتنمية القدرة المناعية للجسم، علماً أن الخلايا المنشئة اللمفاوية تتشكل في البداية في نقي العظام، ثم تهاجر إلى الغدة التيموسية حيث تبدأ عمليات تمايز الخلايا المنشئة اللمفاوية إلى خلايا لمفاوية تائية في منطقة القشرة بوجود هرمون التيموزين، ثم تنتقل الخلايا التائية(T) عبر الحاجز الدموي التيموسي إلى اللب التيموسي حيث تخزن فيه لحين الحاجة. وإثر الإصابات المرضية تغادر الخلايا التائية اللب إلى الدم عبر الشعيرات الدموية في تلك المنطقة أو إلى إحدى الأوعية اللمفية التي تجمع اللمف من الغدة التيموسية لتشارك في المناعة الخلوية.

سابعاً: الغدة الكظرية The Adrenal Gland



الشكل رقم (179): موقع الغدة الكظرية

الغدة الكظرية غدة مزدوجة، يأخذ كل منها شكلاً هرمياً وتتوضع على القطب العلوي من كل كلية، (الشكل رقم 179)، وتزن كل واحدة منها من (5-6) غ. وعلى الرغم من صغرها في الحجم فإن تأثيرها مهم جداً.

1- البنية النسيجية للغدة الكظرية:

تتركب الغدة الكظرية من منطقتين مختلفتين بالمنشأ ومتميزتين وظيفياً: هما القشرة Cortex خارجياً واللب Medulla داخلياً.

أ-القشرة الكظرية Adrenal Cortex:

خلايا القشرة غنية بالدسم والكوليسترول وفيتامين C لذلك يغلب عليها اللون الأصفر، حيث تقوم بإفراز ما يقارب من 24 هرمون ستروئيدي ، وتقسم إلى ثلاث مناطق، (الشكل رقم 180):

1- المنطقة الكبيبية Zone Glomerulus:

وهي من الخارج، وتشكل 15% من القشرة الكظرية وتشتمل هذه المنطقة على عدد محدد من الطبقات الخلوية، تجتمع خلاياها على شكل كتل يفصل بينها حجب ضامة. تقوم هذه المنطقة بإنتاج الهرمونات الستيروئيدية القشرية المعدنية Mineral Corticoids Steroid.H ، وأهمها هرمون الألدوستيرون Aldosterone .H .

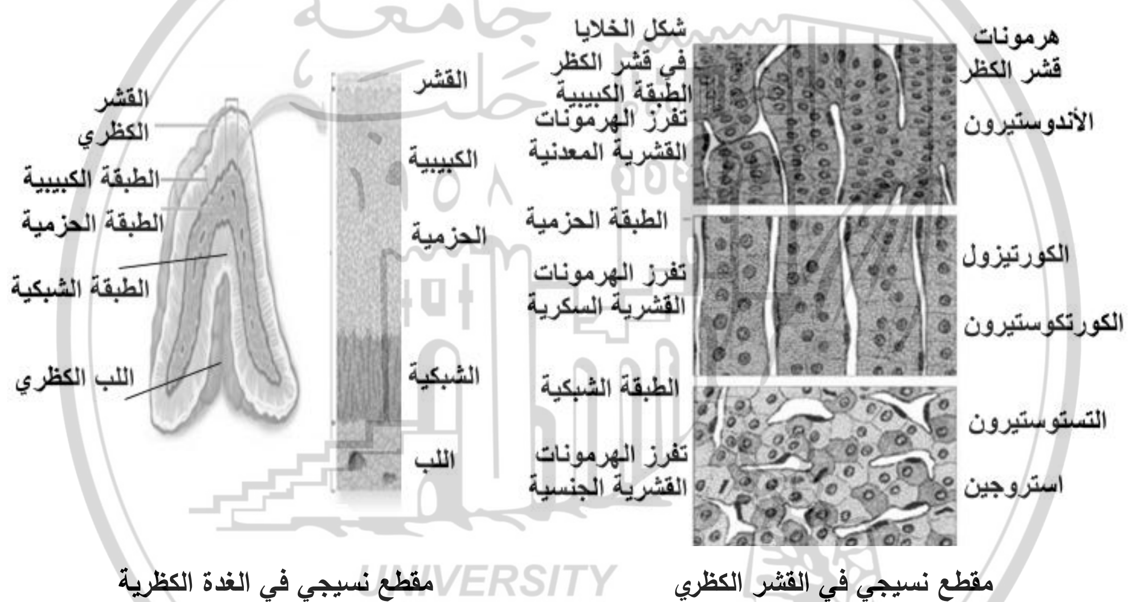
2- المنطقة الحزمية Zone Fasciculate:

وهي الطبقة الوسطى وتشكل 78% من القشرة الكظرية. تقوم هذه المنطقة بإنتاج الهرمونات الستروئيدات القشرية السكرية Glucocorticoids Steroid.H مثل هرمون الكورتيزول Cortisol .H . بشكل رئيسي، والكورتكوستيرون بشكل أقل. تصطف خلاياها على شكل حزم متوازية يفصل بينها حجب ضامة شعاعية وشعريات دموية تأخذ الاتجاه

نفسه، ومن هنا أتى اسمها. وتحتوي خلايا هذه المنطقة على كميات كبيرة من المواد الدسمة مما يعطيها الشكل الرغوي.

3- المنطقة الشبكية Zone Reticularis:

تشكل المنطقة الشبكية عصابة صغيرة وضيقة حول لب الكظر نسبتها حوالي 7% من قشر الكظر ككل. وتتوضع خلاياها على شكل شبكة يفصل بينها أوعية دموية جيبيه واسعة غير منتظمة. وهذه المنطقة تقوم بإفراز الهرمونات القشرية الستيروئيدية الجنسية steroid. H corticoids Gonadotropin مثل الاندروجينات مع كمية قليلة من الاستروجينات.



مقطع نسيجي في الغدة الكظرية   مقطع نسيجي في القشر الكظري

الشكل رقم (180)

ب- اللب الكظري Medulla Adrenal:

يرتبط لب الكظر الذي يمثل 20 % من بنية الغدة ارتباطاً وظيفياً بالجملة العصبية الودية.

يتألف لب الكظر من خلايا بيضوية الشكل أو متعددة السطوح تتجمع على شكل مجموعات أو حبال متشابكة قصيرة تحيط بها الشعيرات الدموية. وتحتوي خلايا لب الكظر على نوعين من الحبيبات: حبيبات معتدلة ذات كثافة متوسطة تحتوي على الأدرينالين وحبيبات ذات كثافة عالية تحتوي على النوأدرينالين.

تبنى الهرمونات الستيروئيدية ضمن خلايا قشرة الكظر من الكوليسترول عبر سلسة من التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تبدأ بتحويل الكوليسترول إلى مركب كيميائي يدعى Pregnenolone وذلك في سوية الجسيمات الكوندرية بوساطة أنزيم Desmolase وبتنظيم من هرمون ACTH. يغادر Pregnenolone الجسيمات الكوندرية إلى الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء، وهناك يمر بعدة تحولات كيميائية حيوية يتم خلالها انتاج الأنواع الثلاثة من الهرمونات الستيروئيدية وذلك بفعل أنزيمات نوعية موجودة في الشبكة البلاسمية الداخلية الملساء. تفرز الهرمونات الستيروئيدية إلى الدم وتنقل إلى الخلايا الهدف بوساطة بروتين ناقل من طبيعة غلوبولينات. وبعد الانتهاء من مهمتها يتم تخريبها في الكبد حيث تتحول إلى مركبات ذوابة في الماء تطرح مع البول.

2- وظائف الهرمونات القشرية الكظرية:

تلعب هرمونات قشرة الكظر دوراً مهماً في تنظيم استقلاب السكريات والدهون والبروتينات في خلايا الجسم وتنظيم المحتوى المائي الملحي لسوائل الجسم.

أ- الهرمونات المعدنية القشرية (الألدوستيرون):

الألدوستيرون هرمون ستروئيدي تقدر كميته اليومية (0.2) مليغرام، يؤثر في النبيب القاصي الكلوي التي ينظم محتوى البول من الشوارد، حيث ينشط إعادة امتصاص شوارد الصوديوم من جهة ويثبط إعادة امتصاص شوارد البوتاسيوم والهيدروجين من جهة أخرى. كما ويتسبب في انخفاض كمية شوارد الصويوم المطروحة في اللعاب والعرق ومفرزات الأنبوب الهضمي. وكنتيجة لعود امتصاص الصوديوم يعاد امتصاص الماء بالحلول، وبالتالي التقليل من خسارة الماء.

يرتبط تنظيم إفراز الألدوستيرون بدرجة كبيرة بتراكيز الشوارد في السائل خارج الخلوي وحجم الدم والضغط الشرياني، ويخضع لآلية التغذية الراجعة السلبية. وتعرف أربعة عوامل مختلفة تقوم بأدوار أساسية في تنظيم إفراز الألدوستيرون:

1- زيادة تركيز شوارد البوتاسيوم في السائل خارج الخلوي.

2- زيادة فعالية جملة رينين- انجيوتنسين Rennin- Angiotensin- System المحرضة بنتيجة إما نقص جريان الدم إلى الكليتين أو ضياع شاردة الصوديوم، (الشكل رقم

181). ويعتمد إفراز الرينين من الجهاز المجاور للكبيبات في الكلية على حجم السائل داخل الخلوي، إذ يؤدي أيُّ نقص في حجم هذا السائل كما يحدث في أثناء النزف أو الاسهالات أو نقص الملح في الطعام إلى زيادة إفراز الرينين وزيادة الأنجيوتنسين ثم الألدوستيرون الذي يقوم بحبس الماء والصوديوم مسبباً في زيادة حجم السائل خارج الخلوي ومن ثم تصحيح الخلل الأصلي.

3- انخفاض تركيز شوارد الصوديوم في السائل خارج الخلوي.

4- الهرمون الحاث لقشرة الكظر ACTH المفرز من النخامة الأمامية نتيجة انخفاض الضغط الحلولي وتنشيط الوطاء.



الشكل رقم (181): تنظيم إفراز الألدوستيرون من قشر الكظر بوساطة جملة رينين – أنجيوتنسين

وعندما تفشل الخلايا الكبيبة في إنتاج كمية كافية من الألدوستيرون، تظهر حالة قصور الألدوستيرون Hypoaldosteronism، التي يرافقها كل من الظواهر الحيوية التالية:

1- فقدان كمية من الماء وشوارد الصوديوم مما يؤدي إلى نقص حجم الدم وخفض الضغط الشرياني وحدوث التجفاف، وإذا لم يعالج مريض قصور الألدوستيرون فسوف ينتهي به الحال بصدمة دورانية ومن ثم الموت.

2- ارتفاع نسبة شوارد البوتاسيوم نتيجة الاحتفاظ بها والتي تسمى فرط البوتاسية Hyperkalemia في بلازما الدم، الأمر الذي يسبب خللاً واضطراباً في النظم القلبي.

بينما يؤدي فرط نشاط الخلايا الكبيبة إلى حالة فرط الألدوستيرون، وأهم العلامات السريرية المرافقة لهذه الحالة، انخفاض تركيز شوارد البوتاسيوم في مصورة الدم مما يؤدي إلى ضعف عضلي شديد، وزيادة شوارد الصوديوم في مصورة الدم الذي يؤدي إلى زيادة حجم الدم وبالتالي ارتفاع الضغط الشرياني.

ب- الهرمونات القشرية السكرية (هرمون الكورتيزول):

هرمون الكورتيزول Cortisol.H هرمون ستيروئيدي تقدر كميته اليومية بـ (20) مليغراماً، تفرزه الخلايا الحزمية كرد على الشدة Stress، أو نتيجة انخفاض مستوى الكورتيزول في مصورة الدم. يخضع إفرازه إلى معلومات قادمة من الوطاء على شكل هرمونات مطلقة لقشر الكظر (CRH) .Corticotropin-Releasing Hormone الذي يحث النخامة الأمامية على إفراز ACTH وهذا بدوره يحث الخلايا الحزمية على إفراز الكورتيزول.

وللكورتيزول تأثيرات عديدة أهمها:

1- يلعب الكورتيزول دوراً اساسياً في تنظيم استقلاب السكريات والدهون والبروتينات، إذ ينشط أليات إنتاج الغلوكوز في خلايا الكبد انطلاقا من الأحماض الأمينية. كما يسبب نقصاً في استهلاك الخلايا الجسمية للغلوكوز. ونتيجة للتأثيرين السابقين يرتفع مستوى السكر في الدم بنسبة 50% وتدعى هذه الحالة بالسكري الكظري Adrenal Diabetes. كما يلعب الكورتيزول دورا معززاً لتركيب البروتينات في الكبد وانقاص مدخرات البروتين في كل الخلايا الجسمية باستثناء خلايا الكبد، وذلك من خلال تعزيزه لعملية نقل الحموض الأمينية إلى داخل الخلايا الكبدية وانقاص نقلها إلى الخلايا خارج الكبد، الأمر الذي يؤدي إلى استنزاف بروتين العضلات وضمورها.

أما تأثير هرمون الكورتيزول عل الدهون فهو يعمل على تحريك الحموض الدسمة من النسج الشحمية مما يزيد من تركيز الحموض الدسمة الحرة في المصورة لتستخدم في انتاج الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية في الجسم

بالإضافة الى ما سبق يلعب هرمون الكورتيزول دوراً مشابهاً لدور هرمون الألدوستيرون حيث يؤثر في إفراغ الماء والشوارد وحدوث الوذمات وإرتفاع الضغط الشرياني.

2- تأثير الكورتيزول في أجهزة الجسم:

أ- تسبب زيادة هرمون الكورتيزول في مصورة الدم بزيادة إفراز الببسين وحمض كلور الماء من خلايا المعدة مما يؤدي إلى زيادة الشهية وحدوث البدانة.

ب- تسبب زيادة هرمون الكورتيزول في مصورة الدم بنقص الحامضيات واللمفاويات مع زيادة عدد الكريات الحمر.

ج- يلعب الكورتيزول دوراً مضاداً لفيتامين D لذلك زيادته تثبط عملية امتصاص الكالسيوم في سوية الأمعاء وتنشط عملية طرح الكالسيوم مع البول، الأمر الذي يسبب بحدوث هشاشيه العظام وترقق غضروف الاتصال.

د- تملك الهرمونات القشرية السكرية بشكل عام والكورتيزول بشكل خاص خاصية علاجية تتمثل في قدرتها على انقاص الإستجابة الالتهابية وتثبيط المناعة من خلال تثبيط اللمفاويات والبالعات المحيطية والفوسفو ليباز. لذلك تستخدم في معالجة بعض الأمراض التي تؤدي إلى حدوث فرط التهاب مثل الداء الرثياني والتهاب الكلية الحاد. أما آلية تأثيره فتكون من خلال احاطته بأغشية الجسيمات الحالة تنقص من إطلاق الأنزيمات الحالة للبروتينات وبالتالي يمنع تأثيرها المخرب للأنسجة، وكذلك انقاص نفوذية الأوعية الدموية بمنطقة الالتهاب من أجل تخفيف الوذمة في المنطقة الملتهبة.

أيضاً للكورتيزول تأثير سلبي في المناعة فهو يسبب بتخفيض اللمفاويات والحامضيات وإنقاص كتلة النسيج اللمفاوي للغدة التيموسية، لذلك يعطى أثناء عمليات زرع الأعضاء لمنع الرفض المناعي. كما يثبط الكورتيزول تفاعلات الحساسية لذلك يستخدم في معالجة أمراض الطفح الجلدي. لأن الهرمونات الستيروئيدية القشرية السكرية تقوم بإعاقة هجرة الخلايا البلعمية إلى مواقع الأذى والإصابة، كما وتكون الخلايا المعرضة للهرمونات الستيروئيدية القشرية السكرية أقل قدرة على تحرر المواد الكيميائية التي تحرض وتؤدي إلى الالتهاب. ونتيجة لهذا، يتم تخفيض الطفح والتهيج الجلدي بشكل كبير.

في الوقت نفسه وكنتيجة سلبية يتم انخفاض معدل التئام الجروح بتأثير الهرمونات الستيروئيدية، فضعف المناعة والمقاومة في هذه المناطق يجعلها هدفاً سهلاً لتأثير العوامل الممرضة، لهذا تستخدم الهرمونات الستيروئيدية القشرية السكرية في علاج الطفح الجلدي ولا تستخدم أبداً في حالات الجروح.

عندما تفشل الخلايا الحزمية في إنتاج كمية كافية من الكورتيزول، تظهر حالة قصور الكورتيزول والتي تمثلها حالة مرض أديسون Addison's Disease والتي يرفقها فرط تصبغ الجلد والأغشية المخاطية وتوضع غير متجانس للميلانين وزيادة اصطناع الغلوكوز. ويمكن تفسير ذلك، عند نقص إفراز الكورتيزول يحدث وبآلية تلقيم راجع سلبي فرط إفراز ACTH من النخامة الأمامية والهرمون المحرض للخلايا الصباغية MSH من الفص المتوسط للغدة النخامية. حيث يعتقد أن الكميات الزائدة من ACTH أو MSH تحرض على إنتاج الميلانين من الخلايا الصباغية.

أما زيادة اصطناع الغلوكوز فتكون على حساب هدم البروتينات في الأنسجة بدليل أن الأشخاص المصابين بقصور الكورتيزول يصبحون ضعفاء عضلياً وعاجزين عن استخدام مخزونهم الشحمي لتوليد الطاقة ATP.

أما زيادة نشاط الخلايا الحزمية فتؤدي إلى حالة فرط الكورتيزول والتي تمثلها متلازمة كوشينغ Cushing's Syndrome، حيث يلاحظ ارتفاع نسبة السكر في الدم بسبب انخفاض استقلاب الغلوكوز، وضعف عضلي شديد بسبب زيادة تقويض البروتينات في الأنسجة، وتحرك مخزون الدسم حيث تزداد المدخرات الدسمة في الجذع على حساب مدخرات الأطراف، وحدوث الإنتانات بسب تثبيط الجهاز المناعي. كما وتتسبب المعالجة الطويلة بالكورتيزون بالوهن العضلي نتيجة ضياع البروتينات والكرياتينين من العضلات.

ج – الهرمونات القشرية الستيروئيدية الجنسية:

تفرز هذه الهرمونات من قبل المنطقة الشبكية وتضم كلاً من الهرمونات الجنسية الأنثوية (الاستروجين والبروجسترون)، والهرمون الجنسي الذكري (التستوستيرون).

في الحالات الطبيعية تفرزهذه الهرمونات بكميات قليلة لا يمكنها أن تعوض عن إفرازها من قبل المبيضين أو الخصيتين. ويعتقد أن هذه الهرمونات مسؤولة عن المراحل

المبكرة في نمو الأعضاء الجنسية الذكرية في مرحلة الطفولة ، ونمو شعر العانة وتحت الإبط عند الجنسين.

أما في الحالات غير الطبيعية كالأورام، فتزداد كمية الاندروجينات مما يؤدي إلى ظهور تأثيرات ثانوية ذكرية أو أنثوية. فالإناث وفي حالة فرط الاندروجينات تصاب بالذكورة الكظرية Adrenogenital وفيها تتصف الإناث بتطور الصفات الجنسية الذكرية الثانوية كظهور الشعر على الوجه، وتوزع الدسم وفق النموذج الذكري وتطور العضلات، وخشونة الصوت وضمور في الأعضاء التناسلية والأثداء ما عدا ضخامة البظر، بينما يلاحظ في حالة فرط الاستروجينات عند الذكور تطور الأثداء وظهور ما يسمى بتثدي الرجل Gynecosmatia.

3- وظائف هرمونات لب الكظر:

وهو نسيج عصبي مشتق من خلايا العرف العصبي ويمكن عده تجمعاً للعصبونات الودية بعد العقدية، وهو يفرز هرمونين متشابهين في التركيب والتأثير الأدرينالين والنور ادرينالين.

ينشأ الأدرينالين والنورادرينالين في الجسم من الحمض الأميني المسمى التيروزين الذي يستقلب في الكظر والجملة العصبية في تسلسل معين ليولد مجموعة الكاتيكولامينات Catecholamines. يختلف فعل الادرينالين والنور ادرينالين على الخلايا المستهدفة بحسب المستقبلات التي تحملها إذا كانت من نمط ألفا أو نمط بيتا، حيث يؤدي تنبيه مستقبلات ألفا في العضلات الملساء إلى تقلص، بينما يؤدي تفعيل مستقبلات بيتا إلى استرخاء. يكون مستوى كل من الأدرينالين والنورادرينالين منخفضاً في الدم في الظروف العادية، ولكنهما يزدادان في الدم بسرعة استجابةً للحالات التي تستدعي رفع استعداد الجسم للقيام بالأعمال المجهدة، أو في حالات هبوط الضغط الشرياني أو النزف أو نقص الأكسجين أوانخفاض مستوى سكر الدم أو التعرض للبرد الشديد، وذلك بهدف حماية الجسم من هذه الإضرابات الخطيرة التي تؤثر في سلامته.

يؤدي الأدرينالين والنورادرينالين دورهما هذا عن طريق تأثيرات تقود في محصلتها إلى رفع الضغط الشرياني وزيادة التروية الدموية للدماغ والقلب والعضلات الإرادية المخططة وزيادة توفر الوقود الجاهز المكوّن من الغلوكوز والحموض الدسمة الحرة لاستعمالها من قبل أعضاء الجسم، كما يزيدان من درجة الوعي والتيقظ في الدماغ.

الفصل الحادي عشر
غدة البنكرياس
Pancreas Gland

1- مقدمة:

تصنف البنكرياس مع الغدد المختلطة نظراً لإفرازاتها الخارجية التي تصب في العفج، حيث تفرز العصارة التي تعمل على هضم مختلف الأطعمة، وإفرازاتها الداخلية التي تصب في الدم، حيث تفرز الهرمونات التي تشرف على استقلاب السكريات بشكل أساسي.

تقع البنكرياس البالغ طولها (20) سم ووزنها (50-150)غ، أسفل المعدة في عروة العفج، وتتكون من رأس وجسم وذيل، (الشكل رقم 182).

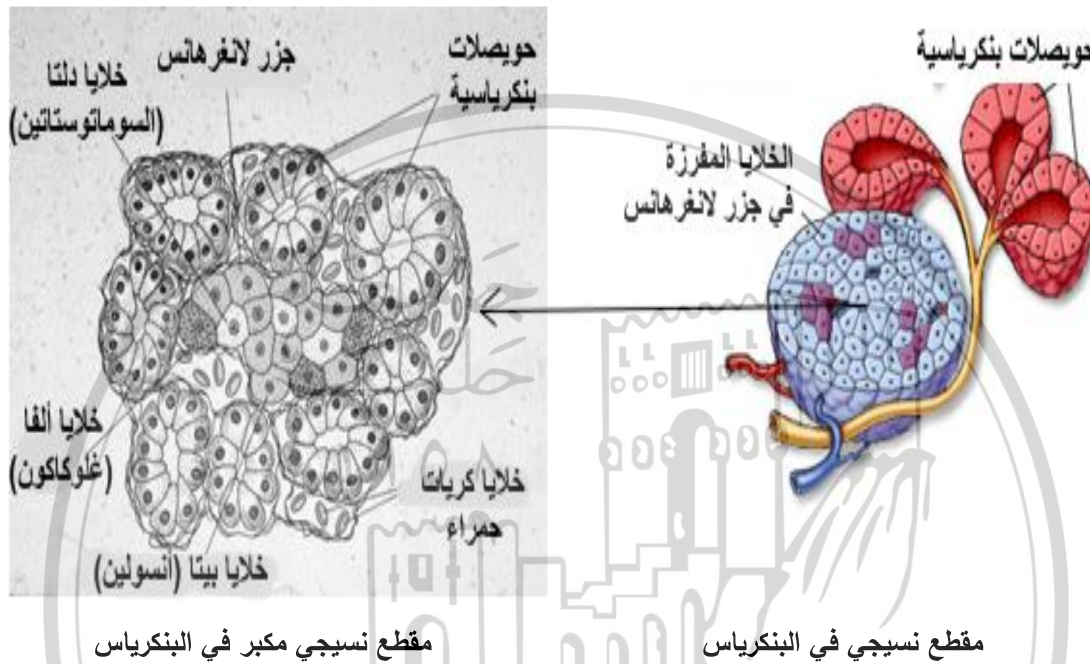


الشكل رقم (182): يوضح مكان توضع البنكرياس

المكون النسيجي الرئيسي للبنكرياس هو الفصيصات التي تمثل الغدد خارجية الإفراز التي تقوم بإنتاج العصارة البنكرياسية التي تصب في العفج عن طريق قناة

ويرسنغ. وجزر لانغرهانس البالغ عددها حوالي (1-2 مليون) وقطر الجزيرة الواحدة ما يقارب (0.3) ملم، والتي تنتظم حول الشعيرات الصغيرة حيث تفرز إليها هرموناتها.

وبالاعتماد على معايير نسيجية وبالإضافة إلى معايير فيزيولوجية يمكن أن نميز في الجزيرة الواحدة عدة أنواع من الخلايا، (الشكل رقم 183):



مقطع نسيجي في البنكرياس — مقطع نسيجي مكبر في البنكرياس

الشكل رقم (183)

أ- خلايا بيتا: وتشكل 60% من مجموع خلايا جزيرات لانغرهانس، وتتوضع هذه الخلايا في وسط كل جزيرة وتفرز هرمون الأنسولين.

ب – خلايا ألفا: وتشكل 25% من مجموع خلايا جزيرات لانغرهانس، وتتوضع في المحيط وتفرز هرمون الغلوكاكون.

ج – خلايا دلتا: وتشكل10% من مجموع خلايا جزيرات لانغرهانس وتفرز هرمون السوماتوستاتين.

د – الخلايا PP: وتشكل 5% من مجموع خلايا جزيرات لانغرهانس، وتفرز هرمون عديد الببتيد البنكرياسي، الذي يقوم بتثبيط تقلصات المرارة في حال عدم تناول الطعام وكذلك ينظم إنتاج بعض الأنزيمات البنكرياسية التي يمكن أن تساعد في تنظيم معدل امتصاص المواد الغذائية من قبل القناة الهضمية.

2- هرمونات جزر لانغرهانس:

أ-هرمون الأنسولينH. Insulin:

الأنسولين هرمون متعدد الببتيد وزنه الجزيئي (6000)، يتكون من (51) حمضاً أمينياً تتوضع في سلسلتين تضم الأولى (21) حمضاً أمينياً والثانية (30) حمضاً أمينياً وترتبط السلسلتان ببعضهما البعض بروابط ثائية الكبريت.

ونظراً لأن الأنسولين يتكون من حموض أمينية، فإنه لا يمكن إعطاؤه عن طريق الفم عند قصور إفراز الأنسولين، بسبب تخربه في القناة الهضمية بتأثير الخمائر المعدية، فلذلك يجب إعطاؤه وريدياً.

يؤثر الأنسولين في الاستقلاب الخلوي عن طريق ارتباطه بمستقبلات بروتينية نوعية تتوضع على سطح الخلية الهدف.

وتتكون المستقبلات البروتينية من أربع سلاسل بروتينية ترتبط مع بعضها بروابط ثنائية الكبريت، سلسلتان (α) تتوضعان بشكل كامل خارج الغشاء وسلسلتان(β) تخترقان الغشاء الخلوي وتبرز نهاية كل منها إلى سيتوبلاسما الخلية.

يرتبط الأنسولين بسلسلتي (α)خارج الخلية، الأمر الذي يسبب ارتباطها بسلسلتي (β)، تصبح أجزاء سلسلتي بيتا مفسفره وهذا ما يجعلها تتحول إلى أنزيم فعال هو كيناز التيروزين، الذي يقوم بفسفره عدد من أنزيمات العصارة الخلوية. وبهذه الطريقة غير المباشرة يوجه الأنسولين الألية الاستقلابية داخل الخلايا. وتتمثل التأثيرات النهائية لتنبيه الأنسولين في الخلية الهدف:

1- خلال ثوانٍ من ارتباط الأنسولين بمستقبلاته على الغشاء، تصبح أغشية الخلايا العضلية وخلايا النسيج الشحمي عالية النفوذية للغلوكوز، وهذا ما يسمح بالدخول السريع للغلوكوز إلى داخل الخلايا الهدف.

2- تزداد نفوذية الغشاء الخلوي للحموض الأمينية وشوارد البوتاسيوم وشوارد الفوسفات.

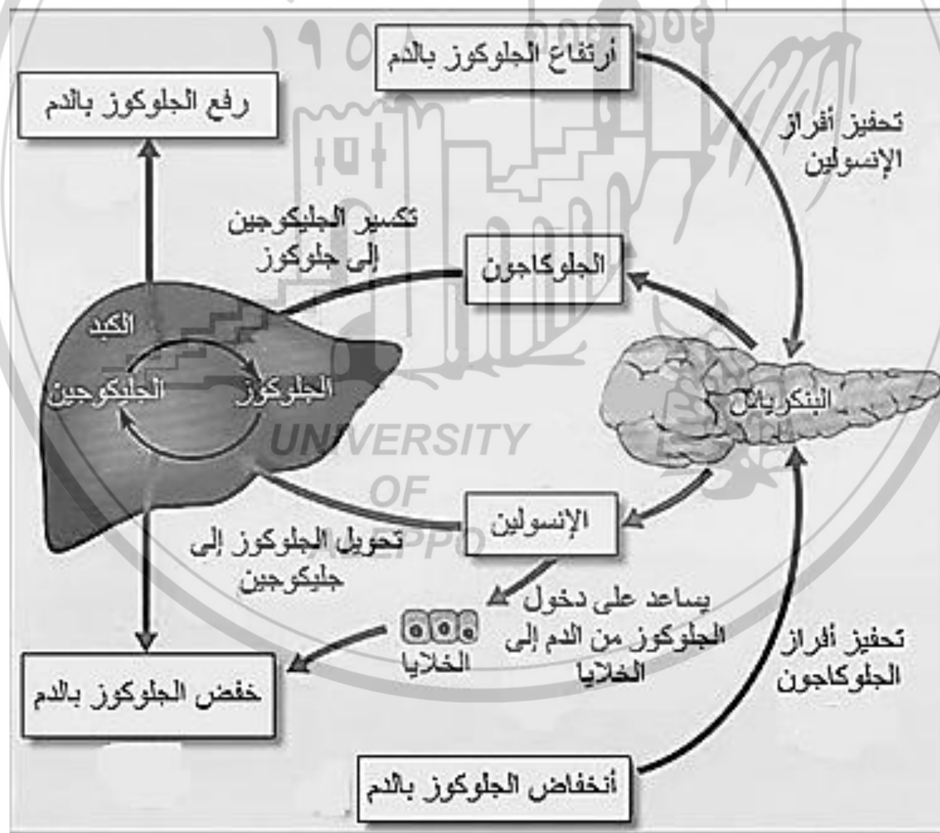
علماً أن التأثيرات السابقة هي أنية ولحظية.

3- كما أن هناك تأثيرات أبطأ تستمر بالحدوث لدقائق وتتضمن تفعيل أنزيمات كانت مثبطة، حيث تقوم هذه الأنزيمات بتحويل الغلوكوز الداخل إلى الخلية إلى غليكوجين.

4- وكذلك هناك تأثيرات في المدى البعيد تستمر لعدة ساعات أو حتى أيام، وهي تنتج عن اختلاف معدلات ترجمة الـ RNA الرسول عند الجسيمات الريبة لتشكيل بروتينات جديدة.

ب-تنظيم إفراز هرمون الأنسولين:

يفرز الأنسولين رداً على ارتفاع مستوى الغلوكوز في مصورة الدم، الأمر الذي يعزز نقل الغلوكوز إلى داخل الخلايا الكبدية والعضلات والخلايا الشحمية وبذلك ينقص تركيز غلوكوز الدم عائداً باتجاه القيمة السوية، بينما يؤدي تخفيض مستوى الغلوكوز في الدم إلى تثبيط إفراز الأنسولين. وتلعب بعض العوامل الأخرى كالمنبهات العصبية (البصر والذوق) والعصب المبهم دوراً في تنشيط الخلايا بيتا وحثها على الإفراز الأنسولين،(الشكل رقم 184).



الشكل رقم (184) ألية افراز الأنسولين والغلوكاكون.

يتم نقل الغلوكوز إلى خلايا بيتا عن طريق نواقل الغلوكوز؛ حيث يؤدي التركيز المرتفع من الغلوكوز في السائل خارج الخلوي إلى ارتفاع تركيزه داخل الخلايا بيتا،

والتركيز المرتفع من الغلوكوز داخل الخلايا بيتا في النهاية يؤدي إلى إزالة استقطاب الغشاء الخلوي وتدفق الكالسيوم إلى داخل الخلية. ويعتقد أن زيادة الكالسيوم داخل الخلايا تشكل واحدة من أهم الأسباب المؤدية إلى تحرر الأنسولين من حبيباته الإفرازية.

ج–تأثيرات الأنسولين في الاستقلاب:

- يقوم الأنسولين بتحفيز الخلايا وخاصة العضلات والخلايا الدهنية على استخدام الغلوكوز والاستفادة من الطاقة الناجمة عن استقلابه .
- يساعد في عمليه تخزين الغلوكوز في خلايا الكبد والعضلات على هيئه غليكوجين واستخدامه مره أخرى عند نقص معدل الأنسولين في الدم.
- يساعد الخلايا الدهنية على استخدام الأحماض الدهنية وتخزينها، علماً أن النقص الشديد بالأنسولين يؤدي إلى زيادة استهلاك الدسم وارتفاع مستوى الكوليسترول المصلي، وفي احداث التصلب العصيدي Atherosclerosis.
- يساعد الخلايا الجسمية على استخدام الأحماض الأمينية وتكوين البروتينات.
- يساعد الخلايا الجسمية على استخدام شوارد البوتاسيوم مما يقلل من معدل شوارد البوتاسيوم في الدم.
- يثبط عمليه تحطيم البروتين.

د–اضطرابات هرمون الأنسولين:

غياب الأنسولين يسبب ما يعرف بمرض السكري Diabetes Melitus الذي تعد أهم أعراضه الزيادة البالغة في حجم البول المطروح خارج الجسم. وهناك نمطان للسكري:

أ– السكري من نمط I (السكري المعتمد على الأنسولين): سبب هذا النمط هو نقص إفراز الأنسولين نتيجة إصابة الخلايا بيتا في البنكرياس. ويظهرعادة هذا النمط من المرض في سن (14) سنة لذلك يدعى بالداء السكري الشبابي.

ب– السكري من النمط II (السكري غير المعتمد على الأنسولين).

ويظهر هذا النمط من السكري بعد سن الأربعين نتيجة نقص حساسية الأنسجة الهدف للأنسولين، لذلك يدعى بالداء السكري الكهل.

هـ- أعراض مرض السكري:

- ارتفاع نسبة الغلوكوز في السائل خارج الخلوي تزيد من الضغط الحلولي، الأمر الذي يدفع بالماء للخروج إلى خارج الخلايا وحدوث التجفاف داخل الخلوي.
- طرح كميات كبيرة من السوائل بالإضافة إلى الغلوكوز عبر البول مما يؤدي إلى تجفاف خارج خلوي.
- زيادة العطش لتعويض السوائل المطروحة.
- ارتفاع غلوكوز الدم وظهوره في البول (بيله سكري).
- الإحساس بالجوع لعدم دخول الغلوكوز إلى خلايا مركز الشبع في الوطاء.
- تغيرات انتكاسية في الدوران وعمل القلب، فقد يؤدي إلى حدوث جلطات قلبية، بدليل ارتفاع معدل الجلطات القلبية عند المصابين بالسكري أكثر بـ (5) مرات من غير المصابين.
- ضعف مقاومة الجسم اتجاه العدوى لأن السوائل الغنية بالسكر تعد وسطاً زرعياً مناسباً للكائنات الدقيقة.
- حدوث نزوفات دموية والتهابات في الكلية مما يؤدي إلى تغيرات انتكاسية في الكلية قد تقود إلى فشل كلوي.
- تغيرات وعائية في شبكية العين تسبب نزوفاً دموية في الشبكية ،الأمر الذي ينجم عنه عمى جزئي أوكلي يسمى بالعمى السكري.

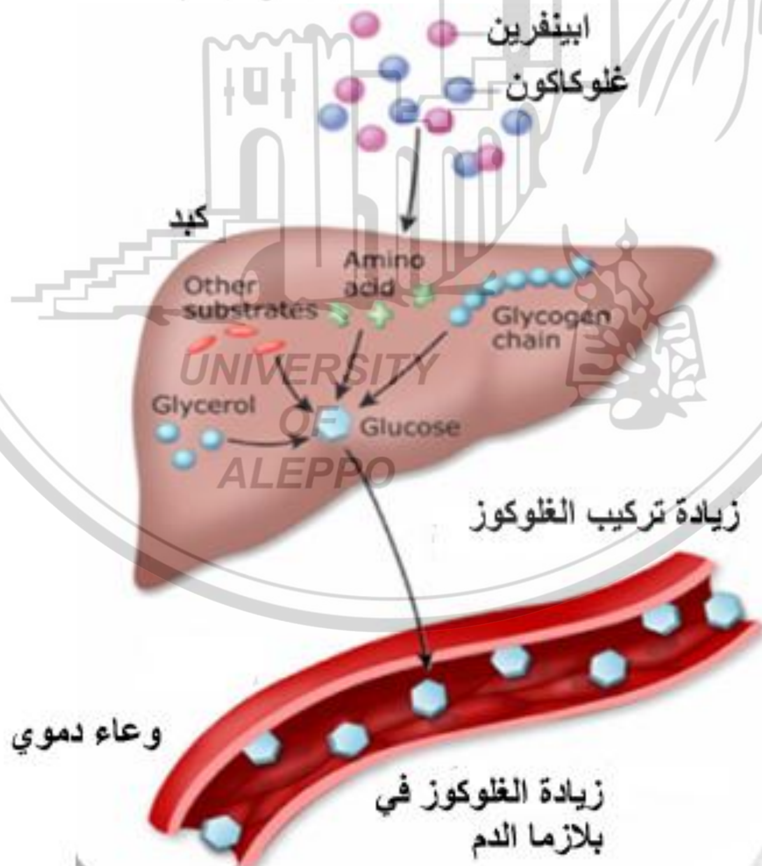
و- فرط إفراز هرمون الأنسولين:

ينتج عن بعض حالات ورم غدة البنكرياس زيادة إفراز الأنسولين مما يؤدي إلى خفض كبير في سكر الدم. إن نقص معدل الغلوكوز في الدم ينبه الجملة العصبية الودية فيزداد تحرير الأدرينالين والنور أدرينالين من لب الكظر، اللذين يؤثران في خلايا الكبد ويؤديان إلى حل الغليكوجين وبالتالي رفع سوية السكر في الدم. ولكن في حال كان الإفراط كبيراً في إفراز الأنسولين، فإن تأثيراته تظهر على الجملة العصبية المركزية وخاصة الدماغ، مما يؤدي إلى الاختلاط الذهني والارتباك والوهن والشعور بالتعب

والدوخة والجوع الشديد. علماً أن هذه الاضطرابات تكون عادة متبوعة بنوبات هستيرية وتشنجات صرعية وغيبوبة عميقة تسمى (غيبوبة الأنسولين) التي قد تنتهي بالموت نتيجة إصابة المراكز التنفسية، لذلك يكون الحقن السريع للغلوكوز في الوريد ضرورياً جداً.

ب . هرمون الغلوكاكون Glucagon.H:

هرمون متعدد ببتيد خطي مؤلف من (29) حمضاً أمينياً، تفرزه خلايا ألفا في جزيرات لانغرهانس. ويقوم الغلوكاكون بعمل معاكس لعمل الأنسولين ويتم إفرازه عادة في أوقات الجوع حيث تنخفض نسبة الغلوكوز الموجودة في الدم عن الحد الأدنى لها فيقوم برفع السوية السكرية في الدم وزيادة نشاط حل الغليكوجين الكبدي، كما ينشط تحرر الغلوكوز من قبل خلايا الكبد عن طريق قيامه بتحويل الأحماض الامينية إلى غلوكوز من جهة، وتنشيط حل الشحوم في النسيج الشحمي وتحويلها إلى أحماض دسمة وغليسرول من جهة اخرى. (الشكل رقم 185).



الشكل رقم (185): آلية عمل الغلوكاكون في تنشيط حل الغليكوجين

وتعد استجابة إفراز الغلوكاكون اتجاه انخفاض تركيز غلوكوز الدم وسيلة تخدم كآلية تلقيم سلبي راجع هامة لتنظيم تركيز غلوكوز الدم، أي إن انخفاض مستوى الغلوكوز في الدم يزيد إفراز الغلوكاكون، بينما ارتفاع مستوى الغلوكوز في الدم يقلل من إفراز الغلوكاكون.

ج . هرمون السوماتوستاتين Somatostatine.H:

هرمون متعدد ببتيد وظيفته تثبيط تحرير هرمون الأنسولين والغلوكاكون من قبل خلايا جزيرات لانغرهانس الأخرى، وانقاص معدل امتصاص الطعام من قبل أنبوب الهضم.



الفصل الثاني عشر
الغدد التناسلية
The Reproductive Glands

الغدد التناسلية (الخصى والمبايض) عبارة عن أعضاء غدية غير تخصصية تقوم بإفراز الهرمونات الجنسية وتشكيل الأعراس الذكرية والأنثوية بتنظيم من هرمونات الفص الأمامي للغدة النخامية (LH, FSH) .

1- المبيض Ovary:

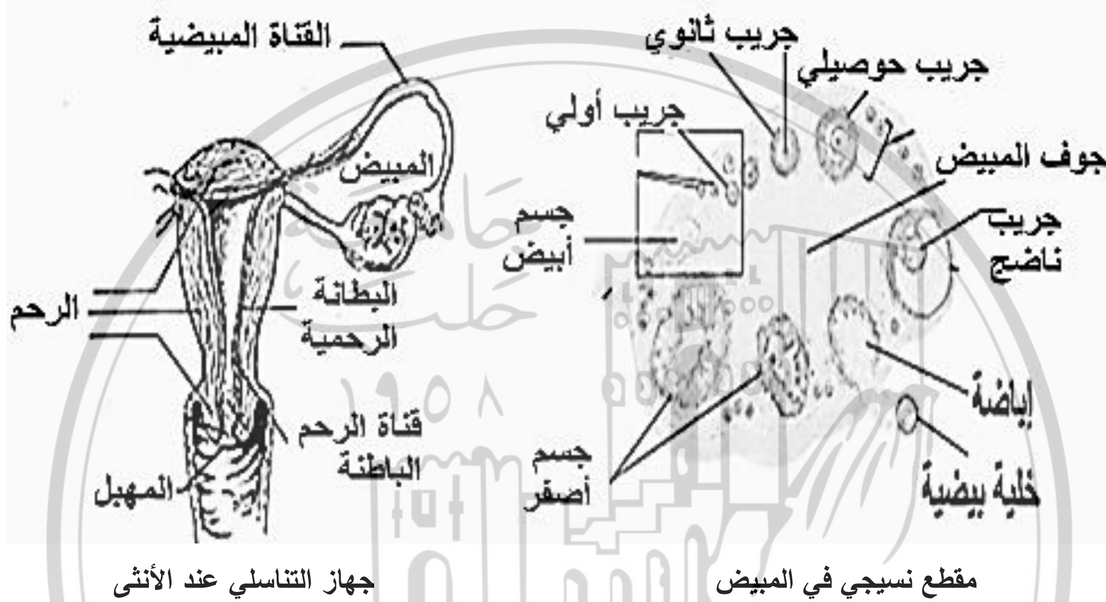
يقوم المبيض بالإضافة إلى وظيفته الرئيسية (تشكيل البويضات) بعمل غدة صماء من خلال إفرازه لمجموعة من الهرمونات الجنسية الأنثوية الاستروجين والبروجسترون.

يستطيع المبيض أن يصنع عدداً كبيراً من الجريبات طوال الحياة التناسلية وقد يصل العدد إلى (400)ألف جريب، ولكن الذي يصل إلى مرحلة النضج لا يتجاوز (400) جريب ناضج فقط. ولهذا تعد حياة الأنثى التناسلية محدودة وينضج لديها في كل دورة طمثية Menstrual Cycle جريب واحد أو جريبان فقط.

يغطى السطح الخارجي للمبيض بظهارة إنتاشيه أثناء الحياة الجنينية. وفي أثناء التخلق الجنيني تتمايز البيوض البدائية عن الظهارة الإنتاشيه، وتهاجر إلى مادة القشرة المبيضية ثم تجمع كل بيضة حولها طبقة من الخلايا الحبيبية. وتدعى الخلية البيضية المحاطة بطبقة واحدة من الخلايا الحبيبية الجريب البدئي Primordial Follicle. ويعتقد أن الخلايا الحبيبية تؤمن للخلية البيضية الغذاء في غضون فترة الطفولة. ولكن هذه الجريبات تبقى مثبطة نتيجة تأثير هرمون الميلاتونين الذي تفرزه الغدة الصنوبرية حتى فترة البلوغ.

تتمثل المرحلة الأولى للنمو الجريبي في حدوث تضخم في الخلية البيضية ثم يلي ذلك نمو طبقات إضافية من الخلايا الحبيبية المفرزة للسائل الجريبي مما يؤدي إلى تشكل الجريب الأولي Primary Follicle.

وعند بداية الدورة الأنثوية الجنسية وقت الحيض يسرع هرموني الغدة النخامية LH,FSH في نمو الخلايا البيضية، ويحث الخلايا الحبيبية على إفراز السائل الجريبي في أكثر من جريب، مما يؤدي إلى ظهور غار ضمن كتلة الخلايا الحبيبية وتشكيل الجريب الحويصلي الذي لا يصل إلى مرحلة الجريب الناضج إلا بوجود هرمون LH، (الشكل رقم 186).



جهاز التناسلي عند الأنثى　　　　مقطع نسيجي في المبيض

الشكل رقم (186)

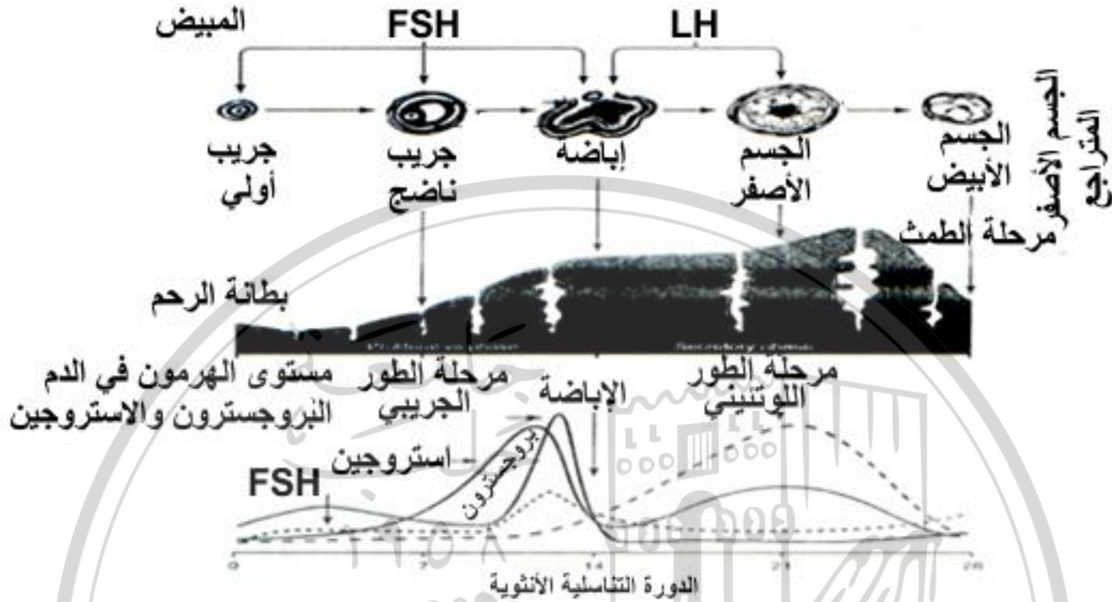
اضافة إلى ذلك وبتأثير هرمونات النخامة الأمامية (FSH – LH) تحدث تغيرات في المبيض والرحم.

2- الدورة التناسلية الأنثوية:

تستمر الدورة التناسلية الانثوية (28) يوم على الغالب وتقسم إلى أربع مراحل: الشكل رقم 187).

أ- الطور التكاثري (الجريبي): ويستمر هذا الطور من اليوم (5) إلى اليوم (14) وذلك بالنسبة لبدء الطمث، حيث يحدث فيه تطور الجريبات الابتدائية وصولاً إلى جريب دوغراف. وعملية التطور هذه تحتاج إلى هرمون الاستروجين. أما بالنسبة للرحم في هذا الطور فنلاحظ زيادة في ثخانة بطانته حتى (3) ملم وتكون الخلايا منتفخة وممتلئة بالمخاط.

ب- الطور اللوتئيني (البروجسترونى): يبدأ هذا الطور من حدوث الإباضة Ovulation وحتى اليوم (21). نلاحظ في هذا الطور زيادة في إفراز البروجسترون من قبل الجسم الأصفر المتنامي، وزيادة في سماكة بطانة الرحم مع زيادة الغزارة الدموية فيها.



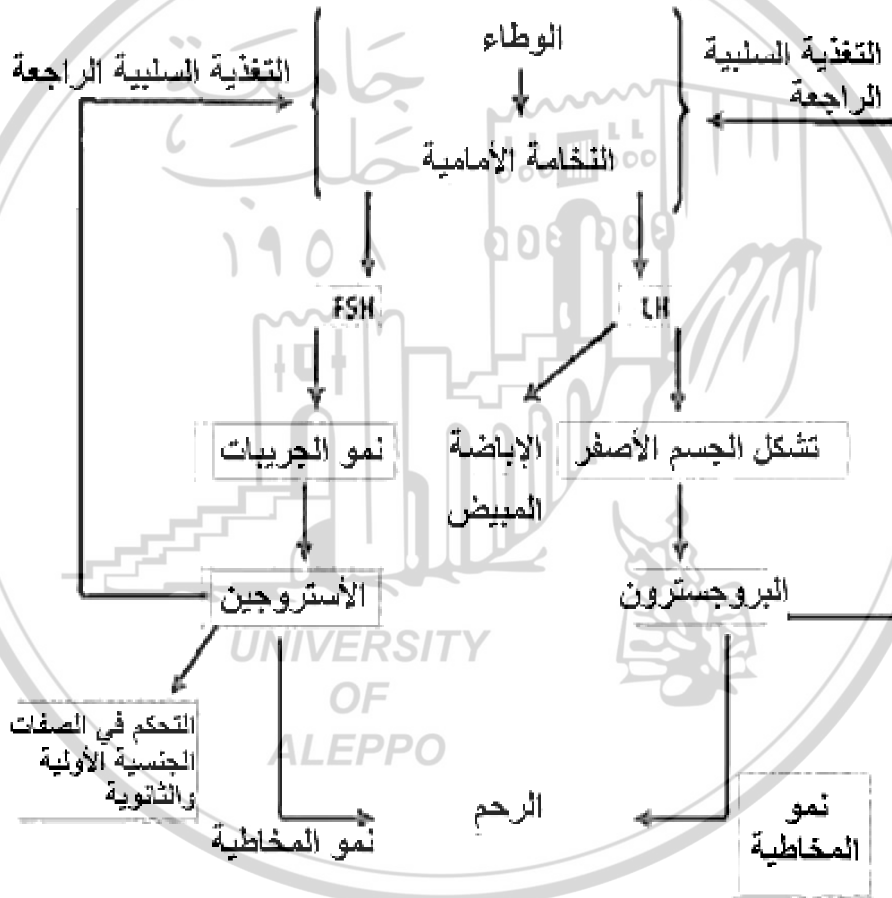
الشكل رقم (187): تغيرات البطانة الرحمية والمبيض ومستويات الهرمونات في الدم خلال الدورة التناسلية الأنثوية

ج -طور التراجع: ويمتد هذا الطور من اليوم (21-28) حيث نلاحظ تراجع الجسم الأصفر وتراجعاً في نمو بطانة الرحم.

د- طور الطمث: يمتد من اليوم الأول من الدورة التناسلية الأنثوية وحتى اليوم الرابع، ويلاحظ فيه انسلاخ بطانة الرحم وخروج دم الطمث. يحدث الانسلاخ نتيجة تضيق الشرايين الحلزونية التي تغذي الطبقة السطحية من البطانة. ويحدث هذا التضيق بتأثير البروستاغلاندينات مما يؤدي إلى منع دخول الدم إلى الطبقة السطحية للبطانة وبالتالي تموت هذه الطبقة مما يؤدي إلى انسلاخها وخروجها. وهذا الانسلاخ يسبب نزفاً دموياً تدريجياً على شكل دم غير متخثر نتيجة وجود مادة مانع تخثر في المهبل، ولكن إذا تم تلقيح البيضة، يزداد معدل الأستروجين والبروجستيرون تدريجياً طيلة فترة الحمل. وخلال فترة الحمل يتم انتاج هرمونات اضافية من قبل المشيمة تتعاون مع هرمونات المبيض والغدة النخامية في سبيل تطور طبيعي للجنين واتمام ولادة طبيعية.

3- الهرمونات المفرزة من المبيض:

تفرز الهرمونات الجنسية الأنثوية طوال فترة النشاط التناسلي للفرد بتنظيم عصبي هرموني ينطلق من الوطاء الذي يفرز الهرمونات المطلقة الموجهة للغدد التناسلية والتي تؤثر في خلايا الفص الأمامي للغدة النخامية وتحرضها على انتاج وإفراز الهرمون المنبه للجريب FSH وهرمون الملوتن LH. هرمون FSH يحرض على نمو الجريبات ويحثها على إفراز الاستروجينات، بينما هرمون الملوتن LH يحرض على تشكل الجسم الاصفر والإباضة ويحث الجسم الاصفر على إفراز البروجسترون، (الشكل رقم 188).



الشكل رقم (188) مخطط الية افراز الهرمونات المبيضية

أ-هرمون الاستروجينH. Estrogen:

هرمون ستروئيدي يصنعه المبيض اعتبارا من الكوليسترول المستمد من الدم. يفرز هذا الهرمون من جريب دوغراف يومياً بمعدل (0.07) ملغ. وتتمثل الوظيفة الرئيسة للأستروجين في إظهار الصفات الجنسية الأنثوية الأولية والثانوية:

1- تأثيره في حجم الأعضاء التناسلية الأنثوية: يعمل هرمون الاستروجين على زيادة حجم كل من (الرحم – المهبل – القناة الناقلة للبيوض)، ويعمل على تضخيم الأعضاء التناسلية الظاهرة.

2- تأثيره في بطانة الرحم: يزيد من عدد الخلايا الظهارية الهدبية التي تبطن البوقين، كما يعزز حركة الأهداب باتجاه الرحم.

3-تأثيره في الهيكل العظمي: يزيد من نشاط الخلايا البانية للعظم ويسرع الاتحاد المبكر للمشاشات مع أجسام هذه العظام، الأمر الذي يفسر توقف النمو عند الإناث قبل سنوات عدة من توقفه عند الذكور.

4-تأثيره في توزع النسيج الشحمي في الجسم: يسبب في توضع كمية كبيرة من الشحم في النسج تحت الجلد في منطقة الآليتين والفخذين مما يعطي المظهر الأنثوي المميز.

5-تأثيره في نمو الجلد: يصبح قوام الجلد ناعم وأملس عادة، كما يؤثر في التروية الدموية السطحية، لذلك المرأة تتحمل درجات الحرارة المنخفضة، وكذلك هي الأكثر عرضة للنزف في حالات الجروح.

6- تأثيره في شوارد الصوديوم والماء: يسبب في احتباس شوارد الصوديوم والماء من قبل النبيبات الكلوية، مما يؤثر في نفسية المرأة حيث تصبح متضايقة ومتوترة وسريعة الانفعال.

7- تأثيره على نسبة الكوليسترول المصلي: يخفض من نسبة الكولسترول المصلي، الأمر الذي يفسر انخفاض نسبة الإصابة بالجلطات عند الإناث.

ب- هرمون البروجسترون Progestron.H ووظائفه:

هرمون ستروئيدي يفرزه الجسم الأصفر، ويقوم بالوظائف التالية:

1- يقوم بتحضير الرحم لتعشيش البيضة الملقحة وتثبيتها.

2- ينقص تواتر التقلصات الرحمية مما يساعد على منع طرد البيضة المغروسة.

3- يعزز التغيرات الإفرازية في المخاطية المبطنة للبوقين، حيث تفيد المفرزات في تغذية البيضة الملقحة التي بدأت انقسامها أثناء عبورها البوق وقبل انغراسها.

4 –يعزز نموونضج الغدد الثديية، فتصبح الخلايا السنخية ذات طبيعة إفرازية.

ج- **هرمون الريلاكسين**.H Relaxin:

خلال فترة الحمل ينتج الجسم الأصفر والمشيمة وبتأثير الهرمون المنشط اللوتئيني المفرز من النخامة الأمامية هرمون الريلاكسين. يقوم هذا الهرمون بتحرير مفصل الارتفاق الفرجي، مما يسمح في تمدد الجزء السفلي من الرحم والمهبل خلال المخاض والولادة. كما إنه ينشط التطور الوظيفي للغدد الثديية بالتعاون مع الهرمونات الجنسية. يتم توقف إفراز الريلاكسين بعد الولادة بسبب قص المشيمة وضمور الجسم الأصفر.

4- الخصية Testis:

تقع الخصية ضمن جيب جلدي يدعى الصفن Scrotum. وللخصية شكل بيضي وسطح أملس لامع وقوام صلب ولون أبيض، ويحيط بها:

أ- غشاء ضام ليفي متين خارجي مغطى بالوريقة الباطنة للصفن.

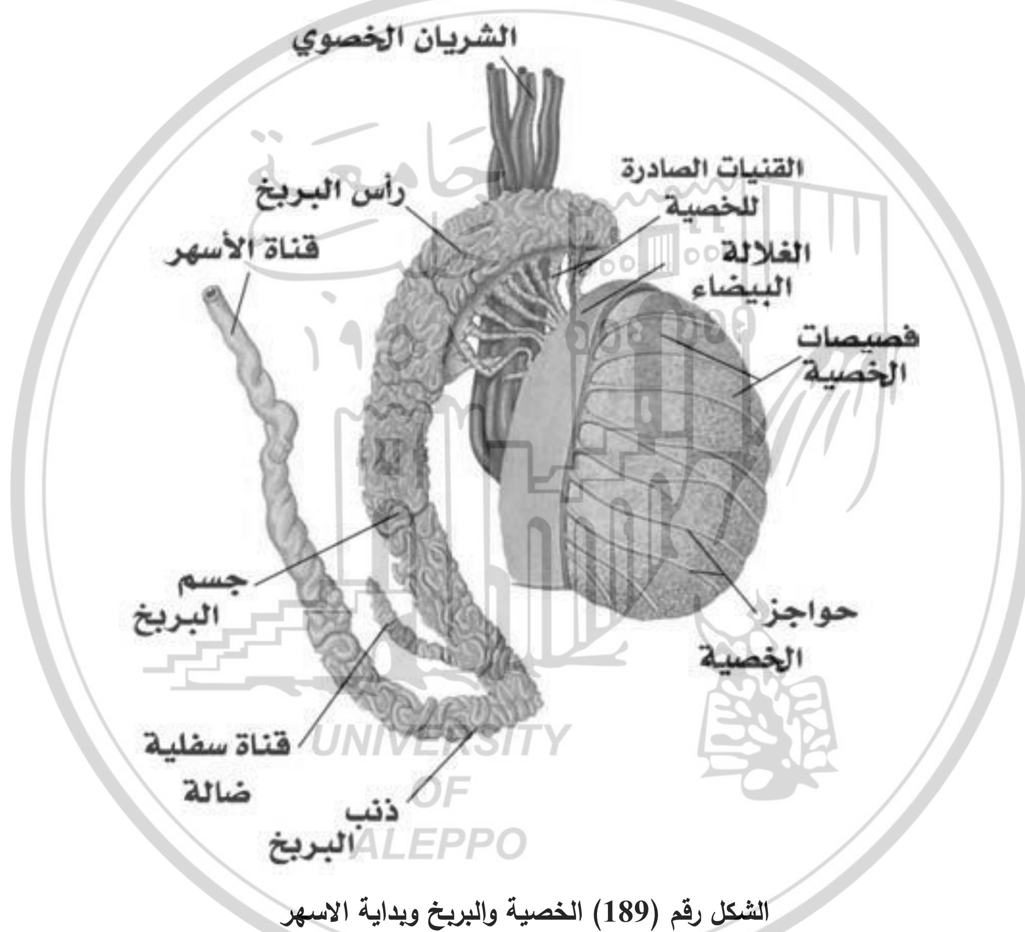
ب-غشاء داخلي يعطي استطالات ليفية تقسم الخصية إلى فصيصات عددها حوالي (300) فصيص، يحتوي كل منها على ثلاثة نبيبات منوية متعرجة تتجه جميعها نحو الجزء الخلفي المنتفخ من الخصية لتعبره، ثم يندمج بعضها ببعض بواسطة فروع جانبية لتشكل شبكة من القنوات التي تدخل في رأس البربخ Epididymis. يتكون البربخ من أنبوب ملتف ينتهي بالحويصل المنوي، حيث تخرج منه قناة دافقة تجتاز البروستات Prostate وتنفتح على الإحليل Urthra عضو الافراغ الخارجي. (الشكل رقم 189). تقوم الخصية بوظيفتين، الأولى تصنيع وإفراز الهرمونات الجنسية الذكرية (الاندرونات) وهي غدة ذات إفراز داخلي، والثانية تصنيع الخلايا المولدة للنطاف Spermatogonis.C.

5- البنية النسيجية للخصية:

تتكون الخصية نسيباً من البنى التالية: (الشكل رقم 190).

أ-الأنابيب المنوية: وهي نبيبات مغلقة يزيد عددها على (900) نبيب، وتتشكل فيها النطاف. تحتوي الأنابيب المنوية على عدد كبير من الخلايا الظهارية الإنتاشيه والتي

تدعى الخلايا المولدة للنطاف Spematogonis التي تتكاثر باستمرار، تتوضع في المرحلة الأولى للإنطاف الخلايا المولدة للنطاف من النمط A Type Spematogonis. C أسفل الحاجز الدموي الخصوي وتتلقى تغذيتها من الدم مباشرة. تنقسم الخلايا المولدة للنطاف من النمط A أربع مرات لتشكل (16)خلية أكثر تمايزاً من نمط A تدعى الخلايا المولدة للنطاف من النمط B، التي تجتاز الحاجز الدموي الخصوي وتبدأ بالعملية الانقسامية وصولاً إلى مرحلة النطفة.

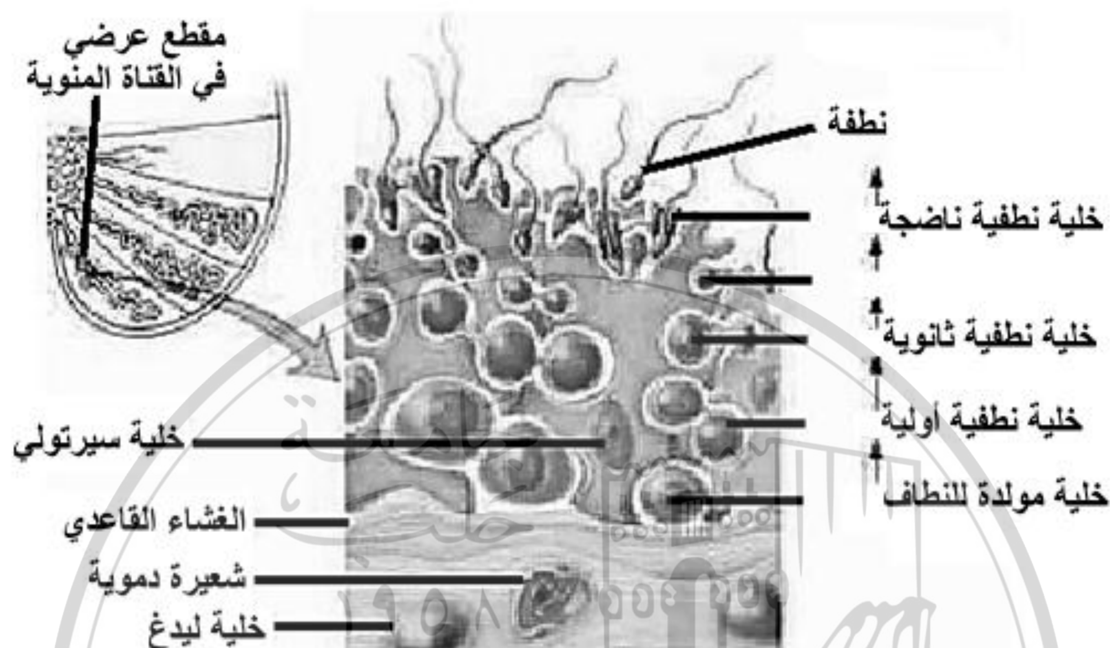


الشكل رقم (189) الخصية والبربخ وبداية الاسهر

إن مراحل تحويل الخلايا المولدة للنطاف من النمط B كلها (خلية نطفية أولية – خلية نطفية ثانوية– منوية) إلى نطفة تحدث والخلايا المولدة للنطاف من النمط B منطمرة في خلايا سيرتولي، حيث تقوم هذه الأخيرة بحضن عملية الإنطاف وتنظيمها. وتقدر الفترة الكلية للإنطاف من الخلية الإنتاشية وحتى انتاج النطفة بنحو(74) يوم.

معظم النطاف الموجودة في الأنابيب المنوية تكن غير فعالة ، وبعد أن تنتقل إلى البربخ والأسهر تصبح فعالة ولكنها غير قادرة على الحركة بسبب حموضة الوسط الناتج

عن الفعالية الاستقلابية للنطاف نفسها حيث تطلق Co_2 وعدم وجود المواد المغذية اللازمة لحركة النطاف.



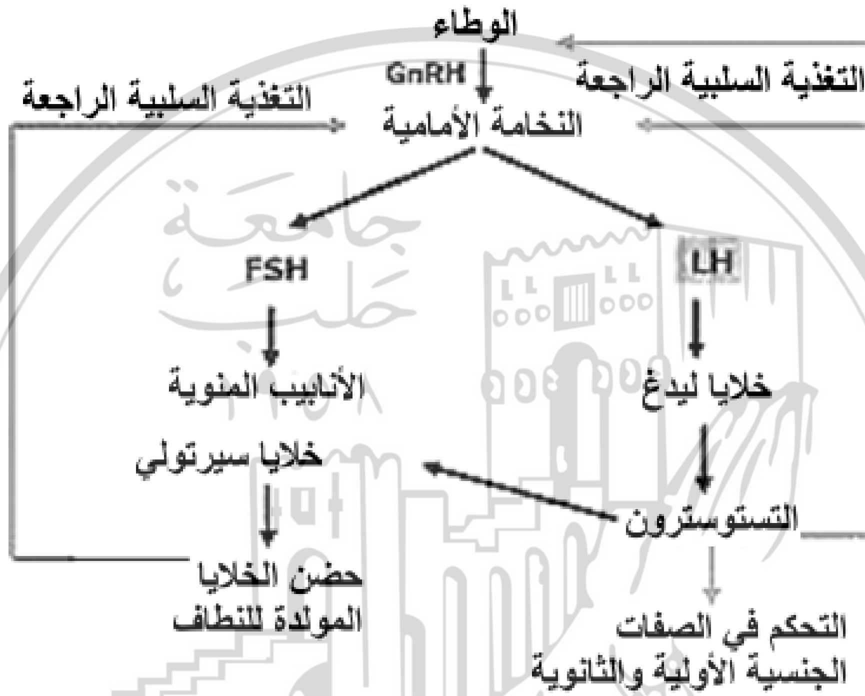
الشكل رقم (190): مقطع نسيجي في الخصية

ب-خلايا ليديغ الخلالية .Leydig Cell: تتوضع خلايا ليدغ في الأقنية الخلالية بين النبيبات المنوية وتقوم بإفراز الهرمونات الجنسية الذكرية (أندروجينات Androgens) وأهمها: التستوستيرون Testosterone.

6-**هرمون التستوستيرون Testosterone .H:**

هرمون ستروئيدي فيه (19) ذرة كربون، تصنعه الخصية من الكوليسترول المستمد من الدم. يرتبط معظم هرمون التستوستيرون بعد إفرازه من الخصية بشكل كبير مع بيتا غلوبولين الذي يدعى الغلوبولين الرابط للهرمونات الجنسية، ويجول في الدم مدة (30) دقيقة، وفي غضون ذلك إما أن يتثبت بالنسج أو يتفكك إلى منتجات عاطلة تطرح خارج الجسم مع البول أو البراز. ففي حال ثبت في النسج ينقلب التستوستيرون إلى ديهدروتستوستيرون بوجود انزيم ألفا ريدكتاز الذي يرتبط ببروتين مستقبل السيتوبلاسما، وبعدئذ يهاجر هذا المركب إلى النواة ويرتبط ببروتين نووي يحرض عملية انتساخ الـ DNA-RNA.

يفرز التستوستيرون طوال فترة النشاط التناسلي للفرد بتنظيم عصبي هرموني ينطلق من الوطاء الذي يفرز الهرمونات المطلقة الموجهة للغدد التناسلية والتي تؤثر في خلايا الفص الأمامي للغدة النخامية وتحرضها على انتاج وإفراز الهرمون المنبه للجريب FSH وهرمون الملوتن LH. هرمون FSH يحرض الانيبيبات المنوية على انتاج النطاف وهرمون LH يحرض خلايا ليدغ على إفراز التستوستيرون،(الشكل رقم 191).



الشكل رقم (191) مخطط يوضح ألية إفراز هرمون التستوستيرون

يؤدي ارتفاع نسبة التستوستيرون في الدم إلى تثبيط إنتاجه بآليات التلقيم السلبي الراجع من خلال التأثير المباشر للتستوستيرون في الوطاء وتثبيطه إفراز العامل المحرر للمناسل (القند) Gn.R.H، أو التأثير المباشر للتستوستيرون في النخامة الأمامية للحد من إفراز هرمون LH.

7- تأثير التستوستيرون في ظهور الخصائص الجنسية الأولية والثانوية:

يعد التستوستيرون بشكل عام مسؤولاً عن الخصائص الميزة لجسم الذكر، فهو يزيد من حجم القضيب والصفن والخصيتين، ويعمل على هبوط الخصيتين إلى الصفن خلال الأشهر الأخيرة من الحمل. وفضلاً عن ذلك تأثيره على الصفات الجنسية الثانوية التي تبدأ بالظهور في بداية البلوغ، كنمو الشعر على الوجه والصدر، والصلع عند بعض

الذكور، والصوت الذكري الخشن، والنمو العضلي بعد البلوغ مع زيادة سمك الجلد وزيادة المفرزات الدهنية في الوجه التي قد تؤدي إلى ظهور حب الشباب.

إن استئصال الخصية قبل البلوغ يؤدي إلى عدم نمو الأعضاء الجنسية وعدم ظهور الصفات الجنسية الثانوية التي تميز الذكر عن الأنثى، كما تنعدم الرغبة الجنسية. أما إذا حدث الإخصاء بعد البلوغ فإنه يؤدي إلى تراجع طفيف في الأعضاء التناسلية الظاهرية وقد يحتفظ الشخص بقدرته الجنسية إلى فترة قصيرة، إلا أنه يصبح عقيماً بسبب عدم تكون النطاف.



المراجع العلمية

- المراجع العربية

1. الخطيب ،محمد علي(2009): فيزيولوجيا الحواس والفاعلات، منشورات جامعة حلب.
2. الخطيب، محمد، قمري، أحمد: (1996) – الفيزيولوجيا الحيوانية العامة والمقارنة (وظائف التنسيق والحس والفاعلات) منشورات جامعة حلب.
3. الخطيب، محمد، قمري، أحمد: (1999-2000) – الفيزيولوجيا الحيوانية العامة والمقارنة (وظائف التغذية)، منشورات جامعة حلب.
4. الرخاوي، توفيق: (2000)– تشريح الجهاز العصبي، منظمة الصحة العالمية، مصر.
5. الشاعر، عبد المجيد وزملاؤه: (1997) – اساسيات علم وظائف الاعضاء، المستقبل للنشر، عمان.
6. القطب – زياد، ديب، جرجس: (1999-2000) – الفيزيولوجيا الحيوانية (وظائف التغذية)، منشورات جامعة دمشق.
7. حسن علي، ناصر: (2002)– الغدة الدرقية، دار ابن النفيس.
8. خاروف، حسن حلمي: (1996-1997) – الفيزيولوجيا الحيوانية العامة والمقارنة (قسم التغذية)، منشورات جامعة دمشق
9. زينب، عدنان: (2007)– علم وظائف الأعضاء، منشورات جامعة تشرين.
10. شحود، منير: (2006)– الجملة العصبية المركزية والحواس.
11. قميحة، حسان أحمد: (1995-1996) – الفيزيولوجيا الطبية والفيزيولوجيا المرضية، دار ابن النفيس – المركز التقني المعاصر
12. قاضي، ناظم نجيب: (1985)– الفيزيولوجيا، منشورات جامعة حلب.
13. قمري أحمد: (2007)– المدخل إلى فيزيولوجيا وتشريح جسم الانسان، منشورات جامعة حلب.
14. لبابيدي، محمد هاني: (2007)– اطلس الفيزيولوجيا الملون.

- المراجع الأجنبية

1. BABSKY.E, KHODOROV. B, KOSITSKY.G, ZUBKOV(HUMAN PHYSIOLOGY). 1975- MIR PUBLISHERS - MOSCO.
2. Frtzgerald.M.J, (chinical Neuro antomy and Neuroes science) 2002 Medical Pulelishers. Newyork.
3. Golglb B., Traczyk.Z. (Anatomia i fiziologia cztowicka). 1986 – Warszawa
4. Guyton.C, (Medical physiology) 2006- Newyork.٤
5. Kahle. W,Leonbardt. N,(platzer.W, color Atlas and Textbook of Human Anatomy) 1986-Newyork.
6. Mathayya.M.M,(Human physiology) 2006-Medical publishers- Newdelh.
7. Nielsem.S. Animal Physiology 1975- England
8. Sembulingam. R,(Medical physiology) (2002)- medical publishers – Newdelhy
9. Seeby.R, Anatomy and physiology.2001- Medisan- Newyork
10. Traczyr.W,Trzebski. A,(Fizjolojia Cztowieka)- 1990- Warszawa

المصطلحات العلمية

- A -

Absorption	الامتصاص
Absolut refractory Period	زمن عُصي مطلق
abducens. N	العصب المحرك العيني الوحشي المبعد
Acetylcholine	الأستيل كولين
Acoustic areas	باحات الحس السمعي
Acoustic impedance	المعاوقة السمعية
Acromegaly	ضخامة النهايات
Absolute refractory	العصيان المطلق
N.Accessory	العصب الشوكي
Accommodation	المطابقة
Acidosis	حماض
Acoustic agnosia	العمه السمعي
Actin	أكتين
Action Potential	كمون الفعل
Active	فعال
Active transport	النقل الفعال
Addison Disease	داء أديسون
Adenyl cycles	أدنيل سيكلاز
Adenohypophyse	الفص الأمامي للغدة النخامية
Adenosine monophosphate cyclic	أدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي
Adolescence	المراهقة
Adrenocorticotropin H	الهرمون الحاث لقشرة الكظر
Adrenogenital	الذكورة الكظرية
Adrenoreceptors	مستقبلات أدرينالينية
A Granulocytes	خلايا بيضاء عديمة الحبيبات
Albumin	الألبومين
Aldosterone	الألدوستيرون
Amacrine cells	الخلايا المقرنية
Ammonia	الأمونيا
Ampulla	حبابة
Amygdaloidal nucleus	النواة اللوزية
Anabolism	الاستقلاب البنائي
Androgens	أندروجينات
Anterior commissure	الملتقى الأمامي
Anterior Nucleus	النواة الأمامية
Aqueous humor	الخلط المائي
Astigmatism	حرج البصر
Atria-ventricular-node	العقدة الاذينية البطينية
Atrial Systole	طور الانقباض الأذيني
Anatomic dead space	الحيز الميت التشريح
Androgens	هرمونات جنسية ذكرية

Anterior thalamus	المهاد الأمامي
Anti-thrombin	مضاد الخثرين
Antidiuretic Hormone	الهرمون المضاد للإبالة
Adiuretic Hormone	الهرمون المضاد للإبالة
Antibody	الأضداد
Aortic valve	الدسام الأبهري
Aorta body	الجيب الأبهري
Aplastic anaemia	فقر دم لا تنسجي
Arachnoid mater	الغشاء العنكبوتي
Arterial pressure	الضغط الشرياني
Association fibers	ألياف ترابطية
Aster gnosis	عمه التجسيم
Atherosclerosis	التصلب العصيدي
Atrial natriuretic peptide	الببتيد الصودي البولي الأذيني
Axon	محور اسطواني
Auricle	الصيوان
Autonomatic nervous system	جملة عصبية لاإرادية
Alveoli	الأسناخ الرئوية
Afferent arterial	توسع الشرينات الوارد
Afferent arteriole	الشرين الوارد

- B -

Basal nucleus	نوى قاعدية
membrane Basilar	الغشاء القاعدي
Basophiles	الخلايا الاساسية
Bipolar neuron	عصبون ثنائي القطب
Bilirubin	بيليروبين
Blind Spot	البقعة العمياء
Bomana's capsule	محفظة بومان
Bladder	المثانة
Body cell	جسم الخلية
Blood	الدم
Blood Platelets	الصفيحات الدموية
Brain Stem	جذع دماغ
Bronchi	القصيبات
Brunner's .G	غدد برونر
Brush Border	الحافة الفرجونية
Bundle of His	حزمة هيس

- C -

Calmodulin	الكالمودولين
Candate Nucleus	النواة المذنبة
Carbonic anhydrase	أنزيم كاربونيك إنهيدراز
Carbamino	الكاربامينو
Cardiac output	النتاج القلبي
Cardio	الفؤاد

Cardio regulatory center	المركز المنظم للقلب
Carotid body	الجيب السباتي
Catecholamines	الكاتيكولامينات
Central nervous system	جملة عصبية مركزية
Corporeal spasm	تشنح رسغي
Corpuscles hassal	جسيمات هاسال
Central fissure	الشق المركزي
Cerebellum	مخيخ
Cerebral hemispheres	نصفي الكرة المخية
Cerebral peduncle	الساقان المخيتان
Cerebral cortex	القشرة المخية
Cerebrum	مخ
Chemoreceptors	المستقبلات الكيميائية
Chest cavity	القفص الصدري
Chief Cells	خلايا شيف أساسية
Cholecystokinin	كولي سيستوكينين
Chondroitin	سلفات الكدروتين
Choroid	المشيمية
Chloride Shift	حوادث نقل الكلور
Chromophobes. C	خلايا كارهة للون
Chromophils. C	خلايا محبة للون
Chylomicron	الدقائق الكيلوسية
Chymus	الكيموس
Ciliary body	الجسم الهدبي
Ciliary ganglion	العقدة الهدبية
Circumvallates papilla's	الحليمات الكأسية
Cochlea	القوقعة
Coeliac ganglion	العقدة الجوفية
Colliculus interior	الحدبات التوأمية السفلية
Colloid	غرواني
Commissure fibers	ألياف التقائية
Condition deafness	الصمم التوصيلي
Constipation	امساك
Compensatory reflexes	منعكسات تعويضية
Compensatory Pause	استراحة تعويضية
Compound action Potential	كمون الفعل المركب
Conductivity	الناقلية
Cones	مخاريط
Conjunctive	الملتحمة
Contractively	الانقباض
Cornea	القرنية
Coronary valve	الدسام الإكليلي
Contrast	التباين
Corpus geniculate medial	الجسم الركبي الأنسي

Corpus Luteum	الجسم الأصفر
Corpusmamillary	الجسم الحلمي
Corpus striatum	الجسم المخطط
Corpus collusum	الجسم الثفني
Crestan	العرف
Corticosterone	كورتيكوستيرون
Counter current theory	التيار المعاكس
Cortisol.H	هرمون كورتيزول
Cretinism	الفدامة
Cribriform plate	الصفيحة المصفوية
Cuneate -Gracile Bundle	الحزمة الرشيقة والوتدية
Cupule	الكويب
Cushing's syndrome	متلازمة كوشينغ

D

Dendrites	تغصنات
Dentate. nucleus	النواة المسننة
Depolarization	زوال استقطاب
Deoxygenated	الحالة المرجعة
Diabetes Melitus	مرض السكري
Diaphragm	عضلة الحجاب الحاجز
Diarrhea	الإسهالات
Diastole	طور الانبساط
pressure Diastolic	ضغط انبساطي أصغري
Dicephalous muscle	العضلة العضدية ذات الرأسين
Diencephalon	الدماغ البيني
Diopters	الكسيرة
Distal tubule	النبيب القاصي
Diffusion	الانتشار
Dopamine	دوبامين
Dorsal respiratory group	مجموعة العصبونات التنفسية الظهرية
Dorsal thalamus	المهاد الخلفي
Ducal cavity	التجويف الفموي
Duct Alveolar	قناة سنخيه
Duodenum	العفج
Dura-mater	الأم الجافية
Dwarfism	القزامة
Dynamic response	استجابة حركية

- E -

Effectors	ألفاعلات
Efferent arterial	تضيق الشرينات الصادرة.
Efferent arteriole	الشرين الصادر
Electrical Synapses	مشابك كهربائية
Electrostatic	قوى الكهرباء الساكنة

Emmetropia	سوية البصر
Endolymph	اللمف الداخلي
Enter peptidase	الأنتروكيناز
Epiphyseal cartilages	الغضاريف المشاشية
Eosinophil's	الخلايا الحامضية
Epididymis	البربخ
Epinephrine	إبينفرين
Erythrocytes	الكريات الحمراء
Erythroblasts	الارومة الحمراء البدائية
Erythrothemia	كثرة الحمر
Esophagus	المريء
Estrogen .H	هرمون الاستروجين
Eustachium	نفير اوستاش
Excitability	التنبه
Excitatory postsynaptic potential	كمونات بعد مشبكيه منبهة
Expiration	الزفير
Expiratory Reserve Volume	حجم الزفير الاحتياطي
Endocrine Glands	غدد داخلية الإفراز
Exocrine glands	غدد خارجية الإفراز
Exo-Endocrine Glands	غدد مختلطة
Exophthalmos	جحوظ العين
External auditory meatus	مجرى السمع الخارجي
External ear	الأذن الخارجية
External intercostal muscle	العضلات الوربية الخارجية
Extra Cellular	خارج خلوي
Extra pyramidal Bundle	الحزم خارج الهرمية
Extra Systole	تقلصه إضافية
Extrinsic nucleus	النوى الخارجية

- F -

Facialis.N	العصب الوجهي
Facilitated transport	النقل الميسر
Facultative reabsorption	امتصاصاً اختيارياً
Feeding Center	مركز الجوع
Fertin	بروتين حديدي كبدي
Fibrosis	مرض التليف
Fibrinogen	مولد الليفين
Filiform papilla's	الحليمات الخيطية
Filtration	الترشيح
First Messenger	رسول أولي
Fissures	الشقوق
Flicking movement	اضطرابات حركية نافضة
Foliate papilla's	الحليمات الورقية
Follicle Stimulating Hormone	الهرمون المنشط للجريب
Fovea central's	الحفيرة المركزية

Free naked nerve ending	نهايات عصبية حرة
Frontal lobe	الفص الجبهي
Functional Residual Capacity	السعة الوظيفية المتبقية
Fungiform papilla's	الحليمات الكمئية
Fundus	القاع

- G -

Ganglions	العقد
Ganglion neurons	العصبونات العقدية
Gigantism	العملقة
Gastrin	المعدين
Gastric glands	الغدد المعدية
Glandgo cites	الخلايا الغدية
Glial cell	خلية دبقية
Globulins	الغلوبولينات
Glomerular Filtration	الترشيح الكبيبي
Glomerular filtrate	الرشاحة الكبيبية
Glomerulus renal	الكبيبة الكلوية
Glomerulus Olfactory	الكبيبات الشمية
Glossopharyngeal.N	العصب البلعومي اللساني
Glucagon .H	هرمون الغلوكاكون
Glucocorticoids steroid.H	هرمونات ستروئيدات قشرية سكرية
Glutamate	الغلوتامات
Gonadotropin Hormone	هرمون منشط منسلي
Gonadotropin Releasing H	الهرمون المطلق للهرمونات المنسلية
Gonadotropin corticoids steroid Hormones	الهرمونات القشرية الستيروئيدية الجنسية
Granulocytes	الخلايا البيض الحبيبية
Gynecosmatia	بتثدي الرجل
Growth Hormone	هرمون النمو
Growth Inhibiting Hormone	الهرمون المثبط لإفراز هرمون النمو
Growth Releasing Hormone	الهرمون المطلق لإفراز هرمون النمو

- H -

Hair cells	خلايا حسية مهدبة
Heart	القلب
Heart muscle	العضلة القلبية
Heavy breathing	التنفس القسري
Hematocrit	الهيماتوكريت
Hemoglobin	خضاب الدم
Hemocytoblast	أرومة اصلية دموية
Hemosederine	بروتين حديدي نقوي
Hemostasis	عملية الارقاء
Hippocampus	الحصين
Histamine	الهستامين
Homeostasis	استتباب
Holicotrema	الكوة الحلزونية

Hormone - responsive elements	العناصر المستجيبة للهرمون
Horizontal cells	الخلايا الأفقية
Hyperopia	مد البصر
Hyperpolarization	فرط استقطاب
Hyperthyroid	مفرطي الدرقية
Hyperthyroidism	فرط نشاط درقي
Hyperparathyroidism	فرط النشاط جار الدريقي
Hypoparathyroidism	قصور جار الدريقي
Hypochromic anaemia	فقر دم حديدي
Hypoglossus.N	العصب المحرك تحت اللساني
Hypothyroidism	قصور جارات الدرق
Hypothyroid	قاصري الدرقية
Hypophysial statk	السويقة النخامية
Hypophyse Gland	الغدة النخامية
Hypothalamus	الوطاء

- I -

Icterus	اليرقان
Ileum	اللفائفي
Immediate memory	الذاكرة الآنية أو العاجلة
Incus	السندان
Inspiratory Capacity (IC)	السعة الشهيقية
Inspiration	الشهيق
Insulin.H	هرمون الأنسولين
Insulin Like Growth Factors	عوامل نمو مشابهة للأنسولين
Inspiratory Reserve Volume	حجم الشهيق الاحتياطي
Intrinsic Nucleus	النوى الداخلية
Internal ear	الأذن الداخلية
Internal intercostal muscles	العضلات الوربية الداخلية
Interneurons	الخلايا البينية
Intermodal pathway	السبل بين العقد
Interior vena cava	الاجوف العلوي
Interleukin	عامل نمو وتمايز للبيض
Interposed nucleus	النواة المقحمة
Intra Cellular	داخل خلوي
Iodinase	أنزيم يوديناز
Iodine	اليود
Iris	القزحية
Islets of Langerhans	جزر لا نغرهانس
Isometric contraction	تقلص متساوي الطول
Isotonic contraction	تقلص متساوي الشد
Isthmus	البرزخ الدرقي

J

Jejunum	الصائم
Juxta glomerular cells	الخلايا المجاورة للكبيبات

Juxta glomerular apparatus | الجهاز المجاور للكبيبات

K

Keto acids	حموض كيتونية
Kidneys	الكلى
Kinases	الكيناز
Klurer Bucy	متلازمة كلوفريوسي
Krause's end bulbs	بصلات كرواس
Hypnosis	الحدب

- L -

Lactic acid	حمض اللبن
Large Intestine	الأمعاء الغليظة
Larynx	الحنجرة
Latent period	الزمن الكامن
Lateral Geniculate Body	جسم ركبي وحشي
Lateral inhibition	التثبيط الجانبي
Lateral fissure	الشق الجانبي
Lateral spino-thalamic tract	حزمة شوكية مهادية جانبية
Leading Tension	توتر التحميل
Left atrium	أذين أيسر
Left ventricle	بطين أيسر
Lens	العدسة
Lentiform Nucleus	النواة العدسية
Leukocyte	الخلايا البيض
Leydig cells.	خلايا ليدغ
Liberkuen.G	غدد ليبركون
Liver	الكبد
Limbic system	الجهاز الحافي
Long- term memory	الذاكرة الطولية الأمد
Lungs	الرئتين
Luteinizing Hormone	الهرمون المنشط للجسم الاصفر
lymphatic system	الجهاز اللمفاوي
Lymphocytes	خلايا لمفاوية
Lymphocyte stem cell	خلية جذعية لمفاوية
Loop of Henley	عروة هانلة

- M-

Macula	البقعة
Macula lutein	اللطخة الصفراء
Medial geniculate body	جسم ركبي أنسي
Macula dense	اللطخة الكثيفة (البقعة الكثيفة)
Malleus	المطرقة
Mastication	المضغ
Mast cells	خلايا بدينة
Mechanism Micturition	آلية التبول

Medulla-oblongata	بصلة سيسائية
Meissner corpuscle	جسيمات مايسنر
Melanocyte-stimulating hormone	الهرمون المنشطة للخلايا الميلانية
Megaloblastic anaemia	فقر دم ضخم الأرومات
Memory	الذاكرة
Mesenteric superior ganglion	العقدة المساريقية العلوية
Mesenteric inferior ganglion	العقدة المساريقية السفلية
Microvilli	الزغابات الدقيقة
Middle ear	الأذن الوسطى
Melanocyte Releasing hormone	العامل المطلق للحاثة الميلانية
Melatonine	ميلاتونين
Menstrual cycle	دورة طمثية
Merkel's disks	أقراص ميركل
Micelles	مسيلات
Mineral corticoids steroid.H	هرمونات ستيروئيدية قشرية معدنية
Monocytes	وحيدات النوى
Motor cortex	القشرة الحركية
Motoneurons	عصبونات محركة
Motor unit	وحدات حركية
Muller C.	خلايا شعاعية
Multipolar neurons	عصبونات متعددة الأقطاب
Muscles	العضلات
Muscle spindle	المغزل العضلي
Myeloid stem	جذعية نقويه
Myenteric plexus	الضفيرة العضلية المعوية
Myofibrils	الليفات العضلية
Myoglobin	الميوغلوبين
Myomfest Tetanus	تكزز عصبي
Myopia	قصر البصر
Myosin	الميوزين
Myxedema	الوذمة المخاطية

- N -

Nasal passages	الطرق التنفسية
Negative Feed Back	تغذية راجعة سلبية
Nerve deafness	الصمم العصبي
Nerve fiber	الليف العصبي
Nervous system	جملة عصبية
Nervous Impulse	دفعة عصبية
Neuron Endocrine Reflexes	منعكسات الغدد الصم العصبية
Neurologic.c	خلية نجمية الشكل
Neurohypophyse	الفص العصبي (نخامة عصبية)
Neuron	العصبون
Neutrophils	الخلايا المعتدلة

Nephrons	الأنابيب البولية
Nods of Ranvier	اختناقات رانفيه
Norepinephrine	النورابينفرين
Nose	الأنف
Nystagmus	الرأرأة

- O -

Obligate reabsorption	امتصاص إجباري
Odorant binding proteins	البروتينات الحاملة للمواد ذات الرائحة
Occipital lobe	الفص القفوي
Oculomotorius. n	العصب الثالث محرك العين
Olfactory agnosia	العمه الشمي
Olfactory areas	باحات الحس الشمي
Olfactory bulb	البصلة الشمية
Olfactory cells	الخلية الشمية
Olfactory tract	المسار الشمي
Olfactory nerve	ألياف العصب الشمي
Olfactory tubercle	الحديبة الشمية
Olivesbulbaires	الزيتونتان البصليتان
superior Olivocerebellar.N	النواة الزيتونية العلوية
Osalocopa	راسم اهتزاز مهبطي
Osmoreceptors	المستقبلات الحلوليه
Osmotic pressure	ضغطه الحلولي
Osteoblasts	بناء العظم
Osteoclasts	كاسرات العظم
ganglion Otic	العقدة الأذنية
Otoliths	المخاريط الاذينية
Oval window	النافذة البيضاوية
Ovary	المبيض
Ovulation	أباضة
Oxcytocin	الأوكسيتوسين
Oxyhemoglobin	هيموغلوبين مؤكسد
Oxygenation	الأكسجة
Oxygen dissociation curve	منحني انفكاك الأكسجين
Oxyphil cells	خلايا حامضية

- P -

Pain receptors	مستقبلات الألـم
Pacinian corpuscle	جسيمات باشيني
Packed Volum cell	حجم الكريات المضغوطة
Pancreas	البنكرياس
Pancrezymine	بانكريوزايمين
Parasympathic system	الجملة نظيرة الودية
Parathyroid Hormone	الهرمون الدريقي
Paraventricular. N.	النواة قرب البطينية

Parietal lobe	الفص الجداري
Parkinson's disease	داء باركينسون
Parietal. Cell	الخلايا الجدارية
Parietal lobe	الفص الجداري
Pars intermedia	الفص المتوسط
Passive transport	النقل المنفعل
parotid gland	الغدة النكفية
pendular	النواسية
Pericardium	التامور
Perilymph	اللمف الخارجي
peripheral nervous system	جملة عصبية محيطية
Peristalsis	التمعجية
Peroxidase	أنزيم البيروكسيداز
Pepsin	الببسين
Pepsinogen	مولد الببسين
Pharynx	البلعوم
Phasic .R	المستقبلات الطورية
Phospho de esterase	فوسفودي استراز
Phospho- Kinase	الفوسفو ليباز
Photoreceptors	المستقبلات الضوئية
Physiologic dead space	الحيز الميت الفيزيولوجي
Circulation Physiology	فيزيولوجيا الدوران
Physiology Digestive	فيزيولوجيا الهضم
Physiology Neuron	فيزيولوجيا العصبون
Physiology nervous system	فيزيولوجيا الجملة العصبية
Physiology Respiration	فيزيولوجيا التنفس
Urinary Physiology	فيزيولوجيا الاطراح
Pia-mater	الأم الحنون
Pinocytosis	الاحتساء
Pinocytic vesicles	حويصلات احتسائية
Pineal ocyte	خلية صنوبرية
Pineal Gland	الغدة الصنوبرية
Pinocytosis	الامتصاص الخلوي
Plain muscles	عضلات ملساء
M.Planter's	العضلة الأخمصية
Platelets factor	عامل التخثر الصفيحي
Plasma	المصورة
Plasminogen	مولد البلازمين
Plasmocytes	الخلايا المصورية
Pleura	الجنب
Polarization	الاستقطاب
Polycythemia	احمرار الدم
Polypeptides	ببتيدات متعددة
postsynaptic potential Inhibitory	كمونات بعد مشبكيه مثبطة

Pons	الحدبة الحلقية
Posterior Nucleus	النوى الخلفية
Posterior pituitary	النخامة الخلفية
Presbyopia	مد البصر الشيخوخي
Pressure receptors	مستقبلات الضغط
Preganglionic fibers	الألياف قبل العقدية
Presynaptic neuron	النهاية العصبية قبل المشبكية
Premotor area	الباحات أمام الحركية
Primary Bronchi	قصبتين هوائيتين
Primary end	النهاية الأولية
Primary follicle	الجريب الأولي
Primary motor cortex	الباحات الحركية الأولية
Primordial follicle	جريب بدئي
Progestron	بروجيسترون
Projection fibers	ألياف ارتساميه
Prolactin Releasing Factor	العامل المطلق للبرولاكتين
Prostate	البروستات
Postganglionic fibers	الألياف بعد العقدية
Proximal tubule	النبيب الداني
Prolactin.H	هرمون البرولاكتين
Proerythrocyte	سليفة الارومة الحمراء
Postsynaptic neuron	النهاية العصبية بعد المشبكية
Pneumotaxic	المركز الرئوي الناهي
Pudenda.N	للعصب العاني
Pulmonary Circulation	دوران رئوي
Pulmonary valve	الدسام الرئوي
Pulse pressure	الضغط النبطي
Pulvinar	الوسادة
Pumps	مضخات
Pylori	البواب
Pyramidal Bundle	الحزم الهرمية
Pyruvic acid	حمض البيروفيك
Putamen	القلنسوة

- R -

Raphe noyaux	نوى الرفاء
Rathke	الجيب النخامي
Rectus muscle	العضلة البطنية المستقيمة
Reflex arch	قوس انعكاسية
Relative refractory	العصيان النسبي
Relative refractory Period	زمن عُصي نسبي
Relaxin.H	هرمون الريلاكسين
Reabsorption	عودة الامتصاص
Regulatory homone	هرمون منظم

Renal cortex	القشرة الكلوية
Renal Erythropoietin Factory	عامل كثرة الحمر
Renal medulla	لب الكلية
Renal pelvis	حويضة الكلية
Rennin	الرينين
Renin –Angiotensin	الرينين انجيوتنسين
Repolarization	عودة الاستقطاب
Residual Volume (RV)	حجم الهواء المتبقي
Rest Potential	كمون الراحة
Retina	الشبكية
Reticular Ephithelial	خلية ظهارية شبكية
Reticular formation	التشكيل الشبكي
Reticulocyte	الخلية الشبكية
Bronchioles Respiratory	القصيبات التنفسية
Rheobase	ريوباز
Ribosomes cytoplasmic	الجسيمات الريبة
Rickets	الكساح
Right atrium	أذين أيمن
Right Lymphatic duct	القناة اللمفية اليمنى
Right ventricle	بطين أيمن
Rods	عصي
Rotate receptors	مستقبلات التوازن المتحرك
Round window	نافذة مدورة
Ruffian's end organs	نهايات روفيني

- S -

Saccule	الكييس
Saliva	اللعاب
Salivary glands	الغدد اللعابية
Sarcolemma	صفيحة لحمية
Sarcomere	القطعة العضلية
Satiety Center	مركز الشبع
Scalene muscles	العضلتان الأخمعيتان
Scale cochllares	المجرى القوقعي
Scale tympani	المجرى الطبلي
Scale vestibule	المجرى الدهليزي
Sclerotic	الصلبة
Scrotum	الصفن
Secretes	مفرزات
Secretin	الإفرازين
Secretion	الإفراز
Secondary Bronchi	قصبتين ثانويتين
Secondary end	النهاية الثانوية
Secondary visual areas	وباحات إدراك حسي
Secretin	الافرازين

Sella turcica	السرج التركي
Semicircular canals	القنوات نصف الدائرية
Senses	احساسات
Sense of Hearing	حاسة السمع
Sense of Equilibrium	حس الــــــــتـــوازن
Sense of Olfactory	حس الشم
Sense of taste	حس التذوق
Sense of Vision	الحس البصري
Sensory cortex	القشرة الحسية
Serrates anterior muscles	العضلتان المسننتان الأماميتان
Serotonin	سيروتونين
Simple Endocrine Reflexes	منعكسات الغدد الصم البسيطة
Sino-auricular-node(S.A.N)	العقدة الجيبية الاذينية
Short-term memory	الذاكرة القصيرة الأمد
Skeletal muscle	عضلات هيكلية
Small intestine	الأمعاء الدقيقة
Soft palate	الحنك الرخو
Solitary nucleus	النواة المفردة
Somatic nervous system	جملة عصبية إرادية
Somatic sense	الحس الجسدي
Somatic sensory area	باحات الحس الجسمي
Somatostatine	هرمون السوماتوستاتين
somnolence	النعاس
Spermatogonis.C	الخلايا المولدة للنطاف
Spheno-palatine ganglion	العقدة الوتدية الحنكية
Spinal Cord	النخاع الشوكي
Spino-cerebellar Bundle	الحزمة الشوكية المخيخية
Spino-thalamic Bundle	الحزمة الشوكية المهادية
Spinal Canglion	عقدة شوكية
Spirometer	مقياس التنفس
Spleen	الطحال
Squint	الحول
Sub tantia nigra	المادة السوداء
Stapes	عظم الركاب
Stapedius muscle	العضلة الشاده الركابية
Static response	الاستجابة السكونية
Stato receptors	مستقبلات التوازن الساكن
Sternum	القص
Sternocleidomastoid muscles	العضلتان القصيتان الترقويتان الخشائيتان
Vestigial nucleus	النواة السقفية
Stomach	المعدة
Stretch receptors	مستقبلات تمدد
Sublingual salivary gland	الغدة تحت اللسان
Submandibular salivary gland	الغدة تحت الفك

Submandibular ganglion	العقدة تحت الفكية
Subraoptic. N	النواة فوق البصرية
Substances P	المادة ب
Substantial nigra	المادة السوداء
Sub thalamus	أسفل المهاد
Summation	التراكم
Support cells	خلايا ساندة
Sup mucosal plexus	الضفيرة العصبية تحت مخاطية
Supmucosal	ضفيرة تحت مخاطية
Subraoptic N	النواة فوق البصرية
Surfactant	العامل السسطحي
Suspensory Ligament	الرباط المعلق
Sustentucular cells	الخلايا المعلاقية
Sylvain fissure	شق سلفيوس
Sympathic system	الجملة الودية
Systemic Circulation	دوران جهازي
Sympatic nervous	الاعصاب الودي
Synaptic Transmission	النقل المشبكي
Synaptic cleft	فالق مشبكي
Syncytium	مدمج خلوي حقيقي
Systole	طور الانقباض
Systolic pressure	ضغط انقباضي أعظمي
Swallowing	البلع

- T -

Taste areas	باحات التذوق
Taste buds	براعم ذوقية
Taste cells	الخلايا الذوقية
Tatile agnosia	عمه لمسي
Tectorial membrane	الغشاء الساتر
Temporal lobe	الفص الصدغي
summation Temporal	التراكم الزماني
Tendon	غولجي الوتري
Tendon Golgi reflex	منعكس غولجي الوتري
Tensotympam muscle	العضلة الشاده الطبلية
Terminal Bronchioles	القصيبات الانتهائية
Testis	الخصية
Testosterone.H	هرمون التستوستيرون
Tidal Volume	حجم الهواء الجاري(المدي)
Thalamus	المهاد البصري
The glands	الغدد
Thymus Gland	غدة تيموسية
Thymosin.H	هرمون التيموزين
Thyroid Releasing Hormone	الهرمون المطلق للمنشطات الدرقية
Thyroid Stimulating Hormone	الهرمون المنشط للدرق.

Thyroglobulin	التيروغلوبولين
Thyroxin	التيروكسين
Thyrotoxicosis	التسمم الدرقي
Tertiary Bronchi	القصيبات الثالثية
Tetanus contraction	التقلص التكززي
Thoracic duc	القناة اللمفية الصدرية
Transsducin	الترانسيدوسين
Trapping Iodide	مصيدة اليود
Tricuspid valve	الدسام مثلث الشرف
Trigone	مثلث المخ
Triiodothyronine	ثلاثي يود التيرونين
Thrombopoietin	عامل نمو وتمايز للصفيحات
Thymus Gland	الغدة التيموسية
Thyroid Stimulating Hormone	هرمون منشط الدرق
Thyroxin binding globulin	الغلوبولين الرابط للتيروكسين
R.Tonic	المستقبلة المقوية
Trachea	الرغامى
Transcription	الانتساخ
Transport maximum	الحد الأقصى لنقل المادة
Trauma	رضوض
Trigeminal nerve	العصب مثلث التوائم
Trochlearis.N	العصب البَكَري
Tropomyosine	التروبوميوزين
Troponine	التروبونين
Tubule	نبيب
Total Long Capacity (TLC)	السعة الكلية للرئة
Tatile agnosia	العمه اللمسي
Tuber cinereous	الحدبة الرمادية
Tympanic membrane	غشاء الطبل

- U -

Utricle	القريبة
Unipolar neuron	عصبون وحيد القطب
Unloading Tension	توتر التفريغ
Unmyelinated Fibers	الألياف العصبية عديمة النخاعين
Urethra	الاحليل
Ureters	الحالبين
Urinary System	جهاز الاطراح البولي
Urinary Tubule	النبيب البولي

- V -

Vagus nerves	العصب المبهم
Vasodepresso	منطقة خافضة للضغط
Vasopressor	منطقة رافعة للضغط
Vasomotor center	المركز المحرك الوعائي
Vasopressin	الفازوبرسين

Vermis	الدودة
Ventilation of the lung	-التهوية الرئوية
Ventral respiratory group	مجموعة العصبونات التنفسية البطنية
Ventral postero nucleus	النوى البطنية الخلفية
Ventral Lateral Nucleus	النوى البطنية الجانبية
Ventral spino-thalamic tract	حزمة شوكية مهادية أمامية
Ventricular Systole	طور الانقباض البطيني
Ventromedial.N	النواة البطنية الوسطى
Vessels blood	الأوعية الدموية
Vestibule	الدهليز
Vestibular nerve	العصب الدهليزي
Vestibular nucleus	النواة الدهليزية
Vestibulosphnal tract	السبيل الدهليزي النخاعي الوحشي
Vestibulocochlearis.N	العصب السمعي
Villi	الخملات
visual areas	باحات الحس البصري
Visual agnosia	العمه البصري
Vital Capacity (VC)	السعة الحيوية للرئتين
Vitreous humor	الخلط الزجاجي

- Z -

Zona Fasciculata	منطقة حزمية
Zone glomerulus	المنطقة الكبيبية

تم تدقيق الكتاب علمياً من قبل:

الدكتور	الدكتور	الدكتور
محمود كروم	محمود قاسم	محمد أبيض

تم تدقيق الكتاب لغوياً من قبل

الدكتور

محمد مرشحة